

Distribuição Espacial de Diferentes Classes de Lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a Partir de Dados Vetoriais e SRTM: uma Contribuição ao Estudo de sua Compartimentação e Gênese

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹ (talmeida@usp.br), Ermínio Fernandes², Deborah Mendes¹, Fábio Cardinale Branco³, Joel Barbujiani Sígolo¹

¹Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Instituto de Geociências - USP

R. do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BRA

²Centro Universitário Senac, São Paulo, SP, BRA

³EnvironMentality, São Paulo, SP, BRA

Recebido em 02 de março de 2007; aceito em 13 de setembro de 2007

Palavras-chave: sensoriamento remoto, SRTM, filtros de convolução, Pantanal, Nhecolândia, lagoas ácidas/alcalinas.

RESUMO

O trabalho apresenta o produto da aplicação de filtros de convolução proporcionais de grandes proporções sobre cartas temáticas rasterizadas de lagoas salinas, hipossalinas e lagoas totais na Nhecolândia. As imagens filtradas mostram diferentes distribuições espaciais das lagoas salinas e hipossalinas bem como as regiões de dominância relativa de um e outro tipo de lagoa. Os resultados demonstram haver relativa independência entre tais distribuições, possivelmente indicando a presença de sutis diferenças ambientais ao longo da gênese recente dos mais peculiares elementos do meio físico da Nhecolândia. Estes dados são cruzados com perfis altimétricos elaborados a partir de dados SRTM. Estes dados foram tornados operacionais após filtragem com filtro passa-baixas de média móvel ponderada, já que ruídos de alta freqüência do tipo *speckle* associados à monotonia topográfica tornam a relação sinal/ruído demasiado baixa, dificultando ou inviabilizando a obtenção de dados. A hipótese de estar a Nhecolândia topograficamente elevada em relação às planícies vizinhas pode ser confirmada após o processamento dos perfis altimétricos. Outra hipótese, relacionada acerca da predominância de lagoas salinas em áreas soerguidas em relação à sua vizinhança imediata, foi também verificada ao menos em parte.

Keywords: remote sensing, SRTM filtering, convolution filters, Pantanal, Nhecolândia, alkaline/acid lakes.

ABSTRACT

This paper presents the application of proportional convolution filters with large size kernels on rasterized thematic maps of saline and hyposaline lagoons, and all lagoons in the Pantanal of Nhecolândia. The filtered images show the spatial distribution of the saline and hyposaline lagoons as well as the relative predominance of each lagoon type. The results demonstrate a relative independence between such distributions, indicating the presence of subtle environment differences during the recent stages of formation of the most peculiar elements of Nhecolândia. These data are crossed with topographical profiles elaborated from SRTM data rendered operational for this plain region after filtering with low-pass mobile average filters. The hypothesis that Nhecolândia is topographically higher in relation to neighboring plains was confirmed after profile filtering. Another hypothesis, related to the predominance of saline lagoons in relatively uplifted areas, was also at least partially confirmed.

INTRODUÇÃO

O Pantanal, a maior planície inundável da Terra, com 138.183 km², divide-se em onze sub-regiões com características muito distintas (Silva e Abdon, 1998). Duas destas regiões – Paiaguás e Nhecolândia – ocupam quase integralmente o leque aluvial do rio Taquari, com uma área de 54.125 km². Este leque é um sistema deposicional complexo com forma quase circular de 250 km de diâmetro, podendo ser considerado o maior megaleque atual (Assine, 2003).

A área de estudo é o Pantanal da Baixa Nhecolândia, cujos 18.000 km² ocupam a porção sudeste do Leque do Taquari. Distingue-se das demais sub-regiões do Pantanal por sua fisiografia peculiar, cuja caracterização, como abordam Fernandes et al. (1999), é essencial para a compreensão daquele ambiente. Esta fisiografia pode ser definida pela presença de Savanas Gramíneo-Lenhosas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos de Savanas Florestadas em elevações de 1 a 3 m (conhecidas na região respectivamente como "vazantes" e "cordilheiras") e numerosas lagoas com características espaciais, físicas, químicas e biológicas muito variadas. Tais lagoas podem ser agrupadas em diferentes classes de acordo com suas características, tais como pH (Almeida et al., 2003), salinidade, grau de arredondamento e orientação. Estas lagoas compõem a mais notável e característica das feições do meio físico daquele ambiente, relacionando-se, de forma ora mais ora menos evidente, com os demais elementos do meio físico de ocorrência generalizada na Nhecolândia, as cordilheiras e as vazantes. A análise da farta literatura que descreve o ambiente, como em Klammer (1982), Mourão (1989), Sakamoto (1997), Silva e Abdon (1998), Gesicki e Riccomini (1998), Fernandes (2000, 2003), Almeida et al. (2003), Assine (2003) e Soares et al. (2004), indica que esta fisiografia devase a uma complexa combinação de processos geológicos, biológicos, hidrológicos, climáticos, sedimentares, geoquímicos e neotectônicos. Assim, embora seja um ambiente único no planeta e conhecido por sua peculiar fisiografia e abundante fauna, tem sua gênese e funcionamento pouco conhecidos.

As primeiras menções a respeito da geologia do Pantanal estão em Castelnau (1887 apud Almeida, 1945) e Lisboa (1909 apud Almeida, 1945). O primeiro é relato de naturalista, referente ao trecho de subida do Rio Paraguai de sua expedição pela América do Sul. O segundo vem da expedição organizada para estabelecer o traçado da Ferrovia Noroeste. Posteriormente Paiva e Leinz (1939 apud Almeida, 1945) investigaram a geologia e fisiografia da região e as possibilidades de ocorrência de petróleo na região em pesquisa do DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral – entre os anos de 1936 e 1938, demonstrando o conhecimento superficial da geologia daquela planície.

Cunha (1945) apresenta breve descrição da geologia da região da Nhecolândia, a qual caracteriza como uma região plana com solo arenoso com camadas de argila nas proximidades de corpos de água. Destaca este autor a alta salinidade de muitos desses corpos de água, apresentando os primeiros resultados de salinidade e composição química das águas de algumas destas lagoas. É, entretanto, apenas com Almeida (1943, 1945) que é definida a Bacia do Pantanal. Esta Bacia é uma depressão tectônica interior, com embasamento constituído por rochas metamórficas neoproterozóicas dos grupos Cuiabá e Corumbá e, em sua porção oriental, rochas sedimentares de unidades paleozóicas da Bacia do Paraná que inclusive afloram. Sua origem é discutida na literatura, que apresenta diferentes modelos tectônicos, como em Shiraiwa (1994), Ussami, Shiraiwa e Dominguez (1999) e Assumpção (1998). Os modelos relacionam a formação desta bacia em hemi-graben a movimentos relativos das Placas Sul-americana e de Nazca, causando esforços extensionais no continente. A presença de atividade neotectônica na região é abordada em diversos trabalhos que expõem, por exemplo, evidências de atividade do Lineamento Transbrasiliano (Rabelo e Soares, 1999) e estruturas cortando sedimentos holocênicos na borda Sul da bacia (Gesicki e Riccomini, 1998).

O Pantanal é assim um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, onde o Rio Paraguai é o rio tronco, coletor das águas de vários legues aluviais, sendo o mais importante o Leque do Taquari. A espessura máxima dos sedimentos, com predominância absoluta de areias quartzosas, é estimada em 550 m a partir de dados sísmicos, e a taxa estimada de subsidência no quaternário é de 22 cm/1.000 anos (Assine, 2003). Desta forma, postula-se que a sedimentação tenha tido início ainda no Terciário, após o tectonismo que causou o desmantelamento da superfície de aplainamento, a qual constitui, possivelmente, o assoalho da bacia, que se encontra recoberto pelos sedimentos da Formação Pantanal (Almeida, 1943). A partir do trabalho de Almeida (1945) diversos autores têm aceitado a possibilidade de uma origem eólica para as areias da região da Nhecolândia. Almeida levantou esta hipótese devido à presença de areias brancas, bimodais, com granulometria fina a média e à detecção de uma barreira arenosa interrompendo um canal fluvial, interpretada como uma possível duna eólica. Segundo Assine (2003), outros autores ampliaram esta interpretação, considerando que as elevações de até 4 m, as "cordilheiras", bastante comuns em toda a área da Nhecolândia, seriam a expressão morfológica de antigas dunas, e que as lagoas teriam sua origem nos locais de deflação eólica. Porém, Soares, Soares e Assine (2004) destacam não terem encontrado, em campo e imagens, evidências de campos de dunas. Ao contrário, indicam a presença freqüente de lagoas organizadas em rosário, feição típica de remanescentes de antigos canais. A bimodalidade das areias, descrita em Almeida (1945), pode ser uma feição herdada da área-fonte onde ocorrem arenitos eólicos finos a médios da Formação Botucatu, bem como areias grossas da Formação Furnas. Mas mesmo que aquelas areias tenham sido trabalhadas eolicamente na região, em períodos climáticos mais secos, as feições sedimentares teriam sido completamente destruídas após o Pleistoceno.

Com base no padrão geométrico de paleocanais e utilizando imagens Landsat MSS e TM, Assine (2003) delimitou seis lobos constituintes do leque aluvial do rio Taquari. Embora seja notável que apenas o lobo onde se situa a Nhecolândia apresente-se quase que totalmente recoberto por milhares de lagos, não foram encontradas, até o momento, menções a diferenças geológicas entre este e os demais lobos do mesmo sistema deposicional que justifiquem tal diferença do meio físico e biótico: embora ocupando apenas uma fração do Leque Aluvial do Taquari e dividindo com a planície a Norte o mesmo substrato, tem a Nhecolândia seus limites dados pelo abrupto desaparecimento da característica alternância de savanas, fragmentos florestais e lagoas salinas e hipossalinas. E internamente, ainda que se trate de uma região de grande monotonia topográfica e de substrato, há diferentes fácies em função das densidades de ocorrência dos elementos do meio físico. A compartimentação da Nhecolândia, dada pela distribuição destas fácies, já vem sendo abordada (Fernandes, 2000, 2007; Almeida et al., 2003; Fernandes et al., 2005; Melero et al., 2005), mas seu significado, em uma análise genética, é ainda obscuro. Soares, Soares e Assine (2004) propõem que com a umidificação do Pantanal após o final da glaciação do Pleistoceno houve elevação regional do freático, levando à formação das lagoas nas depressões de deflação. Inicialmente todas seriam de água doce e as isoladas, alimentadas apenas pelo freático, teriam se tornado progressivamente salobras e salinas.

As principais perguntas da pesquisa que levou a este trabalho – e que não são aqui respondidas – referem-se à contemporaneidade da origem das lagoas salinas e hipossalinas e se as lagoas compõem um ambiente que está estabilizado. Este trabalho tão somente aporta informação da espacialização dos mais característicos elementos do meio físico daquele sistema, as lagoas salinas (e alcalinas a hiperalcalinas) e hipossalinas (e ácidas a neutras). Acredita-se que a existência de lagoas salinas e de elevada alcalinidade (com pHs podendo ultrapassar 10) informem condições ambientais extremamente peculiares que permitiram seu aparecimento e permitem sua subsistência, aspectos não explicados na literatura. Acredita-se ainda que o conhecimento das tendências da distribuição de tais lagoas, e das relações espaciais que mantêm com as lagoas ácidas e hipossalinas, podem auxiliar na compreensão do funcionamento atual da Nhecolândia como um todo, não se descartando sua associação preferencial a blocos tectonicamente alçados ou a subáreas poupadas pela erosão. Para tanto tais dados são localmente cruzados com perfis altimétricos extraídos de dados SRTM, criando um conjunto de informações cuja interpretação poderá ajudar a esclarecer aspectos da gênese recente da Nhecolândia e das perspectivas de seu futuro frente às agressões antrópicas que vem sofrendo.

Geologi

OBJETIVOS

A presença de diferentes fácies na Nhecolândia, definidas pela distribuição diferenciada de lagoas salinas e hipossalinas, é facilmente observada. O objetivo deste trabalho é propor uma espacialização destas fácies e, localmente, cruzá-la com perfis altimétricos para examinar a eventual correlação de discretos desníveis topográficos de origem tectônica ou erosiva. A compreensão dos processos que envolvem a distribuição horizontal e vertical das concentrações de lagoas salinas e hipossalinas na Nhecolândia é essencial para o entendimento de seu funcionamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sobre a imagem Landsat 5 TM de órbita e ponto 226/73, obtida em 20/10/1990, cobrindo integralmente a Baixa Nhecolândia, foi feita por Fernandes (2007) no software SPRING uma classificação supervisionada (classificador Bhattacharrya) após segmentação prévia. Foram definidas duas classes temáticas: Lagoas de água doce e Lagoas salinas. Para a aquisição de amostras para treinamento, foi utilizado como critério a separação de classes de salinidade pelos dados de condutividade elétrica coletados pela equipe em 156 lagoas. Tais dados permitiram classificar as lagoas levantadas em duas classes, com baixa confusão, lagoas de água doce (CE < 750 μ S.cm-1) e salinas (CE < 750 μ S.cm-1). Criadas as classes, as amostras de teste apresentaram uma coerência de 100% dos valores dos pixels agrupados. Aplicado o processo de classificação, obteve-se mapa temático com as duas classes, posteriormente vetorizadas em polígonos a partir dos shapes "Lagoas doces" e "Lagoas salinas" e elaborou-se um terceiro shape chamado "Lagoas totais" que nada mais é do que a soma dos vetores das duas primeiras classes.

As cartas temáticas referentes a cada classe foram transformadas em formato raster e filtradas por filtro passa-baixas proporcional (Branco, 1998), utilizando-se *kernels* de diferentes tamanhos: 25×25 , 51×51 , 101×101 e 151×151 elementos. Os de tamanho intermediário, com 51×51 e 101×101 elementos, produziram melhores resultados, permitindo a espacialização de tendências em diferentes escalas e introduzindo deformação desprezível. Finalmente as imagens filtradas foram combinadas no espaço RGB, permitindo indicar as regiões de predominância de um e outro tipo de lagoa. Posteriormente as cores foram transformadas em tons de cinza para apresentação.

A partir dos dados SRTM foram obtidos perfis com informação da topografía. Este tipo de dado, entretanto, é muito sensível às variações das superfícies na vertical, o que é grave problema em regiões de topografia muito plana, como é o caso da Nhecolândia: a presença de fragmentos esparsos de vegetação florestal introduz variações de alta freqüência nas respostas, variações muito mais importantes que as devidas ao relevo (Kellndorfer et al., 2004), cuja magnitude regional não ultrapassa a razão de dezenas de cm/km. Acrescentese a este um problema maior, dado pelos ruídos de alta freqüência (e baixa magnitude) do tipo speckle (interferências construtivas e destrutivas por diferenças de fase) e de diferenças entre as superposições das faixas iluminadas e a distribuição dos erros em valores negativos e positivos é quase perfeitamente gaussiana (Rodriguez et al., 2004). O histograma dos erros para a América do Sul, apresentada por aqueles autores, mostra apenas um pequeno deslocamento da moda para a direita, implicando em tendência de aumentar a altitude real em cerca de 50 cm (Figura 1).



Figura 1. Histograma de erros na altitude determinada pelos dados SRTM para a América do Sul, originados pelos fenômenos do *speckle*. Modificado de Rodriguez et al. (2004).

Estas feições de alta freqüência, em regiões muito planas, podem ser mais intensas que as variações reais da altitude. Em outras palavras, o ruído (e as variações devidas aos fragmentos florestais) é consideravelmente mais intenso que o sinal. Para solucionar estes problemas considerou-se o princípio de que o ruído do tipo *speckle* gera alternadamente exageros positivos e negativos e de que a topografia da Nhecolândia não apresenta variações bruscas, mas, ao contrário, variações muito lentas (cm/km), representando feições de freqüência muito baixa. Neste caso as médias são mais representativas dos sinais que o dado original, como apresentam Kellndorfer et al. (2004), reduzindo ou eliminando as altas freqüências, que são integralmente devidas a ruído (ou mais raramente ao dossel dos fragmentos).

O modelo de filtro passa-baixas utilizado é um de média móvel, de grande simplicidade teórica e ferramenta de uso comum na suavização de ruído em sinais analíticos. Seu princípio básico é dividir o sinal analítico em uma série de intervalos com a mesma largura, seqüencialmente e ponto a ponto, e substituir o valor do ponto central do intervalo pelo valor médio do intervalo (Cerqueira et al., 2000). Estes autores alertam que este tipo de filtro distorce os sinais de forma diretamente proporcional à largura do intervalo adotado na obtenção da média que substituirá o dado original. No entanto, como o ruído dos dados SRTM é do tipo speckle, este problema é muito minimizado, salvo se os intervalos de filtragem forem grandes o suficiente em relação às feições de baixa freqüência reais, dadas pela variação da topografia. Foram testados filtros de convolução passa-baixas lineares com dimensões de 25, 51, 101 e 151 elementos sobre os arquivos ASCII referentes aos perfís e, para reduzir a deformação do sinal, foi introduzida uma ponderação: o peso de cada pixel é tanto maior quanto mais próximo do elemento central do filtro, o que substituirá o valor original, que tem ponderação 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da filtragem dos mapas rasterizados de lagoas salinas, lagoas hipossalinas e lagoas totais mostrou uma distribuição desigual dentro da Baixa Nhecolândia, com maior concentração na porção E–SE (Figura 2A), a qual está associada a superfícies em média discretamente mais elevadas que a porção NW (Figura 5). As lagoas hipossalinas predominam sobre as salinas e têm uma distribuição mais generalizada (Figuras 2B e 2C), o que não impede haver maiores concentrações em porções contíguas ou relativamente contíguas, implicando na dominação espacial dominada ora por um ora por outro tipo de lagoa.

Os padrões de distribuição das lagoas salinas e hipossalinas (Figuras 2B e 2C) são claramente distintos, sugerindo



Figura 2. Distribuição das lagoas na Nhecolândia indicada pela filtragem por filtro passa-baixas ponderado de 51 elementos de mapas rasterizados: em **A**, total de lagoas; em **B**, lagoas salinas; em **C**, lagoas hipossalinas. Em branco, maiores densidades de lagoas; em cinza médio, densidades baixas a moderadas; em negro, ausência total ou muito baixa densidade de lagoas.

Geologia Série Científica

USP

diferentes controles para sua existência. Assim as lagoas salinas estão dispostas de forma aparentemente mais massiva, porém quase ausentes em toda a porção NW da Baixa Nhecolândia. Destaca-se uma área isolada, de alta freqüência destas lagoas, no extremo Oeste da Nhecolândia, na região das fazendas Firme e Santo Inácio, o que foi confirmado em campo. Esta área se associa a terrenos mais elevados, não sujeitos a inundação, o que é confirmado na Figura 8 (perfil AB). Finalmente, a distribuição das lagoas salinas parece atender a uma estruturação aproximadamente N40E, parcialmente discordante das direções impressas pelas drenagens. Já a distribuição das lagoas hipossalinas (Figura 2C) apresenta padrão de distribuição notadamente independente do das salinas, com tendência de orientação N70E, direção discordante do padrão geral de drenagem atual dado pela direção predominante das "vazantes", entre N40E e N60E. As causas destes padrões de orientação são desconhecidas, mas sugerem prováveis diferenças ambientais.

Em outra abordagem, utilizando-se de um filtro de convolução passa-baixas proporcional, com *kernel* de 101 x 101 elementos e aplicando um realce de contraste extremo, foi obtida uma imagem indicativa das tendências mais regionais da presença significativa de lagoas salinas e hipossalinas. A Figura 3 mostra uma composição em tons de cinza das imagens Lagoas Salinas/Lagoas Hipossalinas/Lagoas Totais assim processadas. Em branco há equilíbrio na distribuição de lagoas salinas e hipossalinas; em cinza claro, predominância de lagoas hipossalinas e em cinza escuro, predominância de lagoas salinas. A imagem demonstra com mais clareza que as lagoas hipossalinas distribuem-se por toda a Nhecolândia, enquanto as salinas também o fazem, exceto na borda Leste e em trecho da borda Norte, onde há absoluto domínio das hipossalinas. Por outro lado, na borda Sudoeste e no extremo Oeste há domínio das salinas.

No que se refere à utilização dos dados SRTM, a utilização de filtros de média móvel para eliminar as respostas de alta freqüência foi essencial. Este tipo de dado pode gerar respostas de alta freqüência tanto em função de variações na cobertura vegetal como por ruídos. Em regiões de topografia extremamente monótona, como na Nhecolândia, onde há numerosos fragmentos florestais em meio às savanas de gramíneas, a utilização de dados SRTM fica inevitavelmente muito prejudicada se não for utilizada uma filtragem do tipo passabaixas, como a escolhida. Na Figura 4 está localizado em imagem TM4 (Landsat 5) um perfil que corta toda a Nhecolândia na direção NNW-SSE e na Figura 5 está apresentado o perfil topográfico correspondente ao da Figura 4, tanto com os dados originais como após as filtragens com filtros com 25, 51, 101 e 151 elementos. Considerando o exagero vertical adotado, de 800 vezes, já com os dados originais é claramente visível estar a Baixa Nhecolândia alcada em relação às planícies vizinhas, mas após a filtragem esta informação não só é mais nítida como permite verificar estar a Baixa Nhecolândia, na média, em torno de 4 m acima do Pantanal de Paiaguás.



Figura 3. Composição em tons de cinza das imagens de lagoas totais, lagoas hipossalinas e lagoas salinas, filtradas com *kernel* de 101 x 101 elementos e com realce de contraste extremo. Em branco, equilíbrio na presença de lagoas salinas e hipossalinas; em cinza claro, predominância de hipossalinas; em cinza escuro, predominância de salinas.

Da mesma forma são identificadas variações de 3 a 4 m no interior da Nhecolândia, mais importantes que as encontradas no início do Pantanal de Paiaguás, notavelmente plano.

Observe-se que Soares, Assine e Rabelo (1998) já afirmavam estar a planície a SE do Lineamento Transbrasiliano 3 m acima da porção do Leque do Taquari cortada por aquele lineamento. Assim os dados ora apresentados confirmam o exposto naquele trabalho e demonstram que toda a Nhecolândia apresenta-se tanto alçada em relação às planícies vizinhas como apresenta variações de relevo importantes em seu interior. Por outro lado os dados ora apresentados demonstram que a declividade na porção sul da Nhecolândia, em direção ao rio Negro é maior que em direção ao rio Taquari, bem a existência de variações topográficas sensíveis no interior da Nhecolândia, inclusive próximo a sua borda sul, onde predominam salinas.

Do ponto de vista da deformação do sinal, ela será tão menor quanto menores forem as dimensões do filtro adotado. Assim, para o caso em estudo os filtros de grandes dimensões são úteis e indicados para observar as feições mais amplas, cuja freqüência é tão baixa que mesmo filtros com dimensões de 151 elementos (que implicam em introduzir informação de 6.750 m de cada lado do ponto a ser corrigido) não alteram a tendência real. Por outro lado, se a abordagem é mais local, o uso de filtros menores é altamente recomendado, pois as feições de média freqüência que porventura existam devem ser preservadas, como pode ser observado na Figura 6, onde está apresentado um segmento do perfil da Figura 4 com a aplicação de filtros respectivamente de 25 e 151 elementos.

Geolog

A região da fazenda Firme está topograficamente elevada em relação às vizinhanças na Nhecolândia, característica que lhe deu o nome desde o século XIX, pois não é atingida pelas cheias. Não à toa foi aí que Joaquim Eugênio Gomes da Silva, conhecido pela alcunha de "Nheco", instalou a sede de seu latifúndio. Assim, o perfil topográfico do extremo oeste da Nhecolândia deve mostrar uma situação mais extremada na área marcada na Figura 7 com a seta branca, o que de fato acontece (Figura 8, perfil AB), onde se verifica uma diferença de pouco mais de 3 m em relação à área imediatamente a norte.

Os perfis EF e GH da Figura 8 mostram a presença de área discretamente mais elevada próximo à borda da Nhecolândia. Já o perfil CD não mostra esta feição. Considera-se, assim, que há evidências de maior proporção de lagoas salinas nas regiões mais alçadas da Nhecolândia. Mas que tal associação é ainda mal definida, exigindo mais trabalho sobre o tema.



Figura 4. Mosaico de imagens da banda TM4 de parte das cenas 226/73 e 74 e 227/73 e 74 do sensor TM, satélite Landsat 5 com localização do perfil da Figura 5 cortando de NNW a SSE toda a Baixa Nhecolândia.



Figura 5. Perfil topográfico localizado na Figura 4, obtido a partir de dados SRTM. Em cinza, os dados originais e em negro, após filtragem com filtros de convolução com respectivamente 25, 51, 101 e 151 elementos. Exagero vertical de 800 vezes. Observar que, para as dimensões do perfil, o realce das feições de baixa freqüência exige um *kernel* de dimensões consideráveis, sendo o mais adequado o de 101 elementos.

Geolog



Figura 6. Segmento do perfil da Figura 4 com aplicação de filtros de 25 e 151 elementos. Observar a presença de feições de média freqüência, nesta escala, no perfil com filtro de 25 elementos e sua ausência quando aplicado o filtro de 151 elementos. Exagero vertical de 300 vezes.



Figura 7. Mosaico de imagens da banda TM4 da Figura 4 com a localização dos perfis SRTM da Figura 8. A seta branca indica a região da fazenda Firme.



Figura 8. Perfis SRTM filtrados por filtro passa-baixas (média móvel ponderada) com 101 elementos. As setas indicam a região mais elevada na região da fazenda Firme e onde há predomínio de lagoas salinas (porção Sul da área estudada). Exagero vertical da ordem de 2.000 vezes.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados indicam que as lagoas salinas e hipossalinas, embora coexistam espacialmente em grande parte da Nhecolândia, têm também distribuição excludente, o que se observa com a filtragem com *kernel* de 51 x 51 elementos dos mapas rasterizados das lagoas da Baixa Nhecolândia. Como tais filtragens implicam em homogeneização de áreas relativamente amplas, isto sugere a existência de ambientes ora mais ora menos propícios à presença de um e outro tipo de lagoa. A presença mais generalizada e contínua das lagoas hipossalinas indica menor especificidade ambiental para sua ocorrência. Na distribuição das lagoas salinas há uma relativa ausência em importante área da porção norte da Baixa Nhecolândia cuja forma, discordante do padrão geral, sugere um processo em curso, seja de extinção ou de imposição frente às lagoas hipossalinas.

Com respeito aos dados SRTM, a utilização de filtros passa-baixas baseados em médias móveis ponderadas eliminou as altas freqüências com eficiência, introduzindo poucas distorções de monta. Nas feições topográficas reais e de freqüência mais alta, como no caso do fundo dos vales mais acentuados tanto à direita como à esquerda dos perfis da Figura 5, o deslocamento das cotas para níveis superiores é evidente, o que naturalmente se explica por corresponderem, aquelas cotas, a altitudes notadamente inferiores ao padrão da região e a declividade, mais acentuada, compor uma feição de freqüência mais alta. A escolha das dimensões do filtro é função da escala de trabalho ou de observação, pois o conceito de alta freqüência é relativo. Os perfis da Figura 6 demonstram este aspecto e também evidenciam a necessidade de utilizar filtros de relativamente grandes dimensões, pois se o ruído do tipo speckle de fato é alternadamente positivo e negativo em relação às cotas reais, esta distribuição, se observada em pequena população, não será gaussiana e tenderá a criar mais artefatos.

Os perfis altimétricos permitem, com a generalização da informação, obter informações potencialmente importantes para a compreensão da Nhecolândia, como estar ela alçada em relação às planícies vizinhas e ter, ao menos localmente, maior freqüência de lagoas salinas em superfícies discretamente alçadas. Este derradeiro aspecto pode ser fundamental para o estudo da gênese recente da Nhecolândia, já que os demais dados do meio físico não foram, até o momento, associados à dominância de um ou outro tipo de lagoa. Como a Nhecolândia diferencia-se do restante do Leque do Taquari por estar discretamente alçada e por comportar milhares de lagoas em seu interior, a associação destes dois elementos do meio físico é tentadora. Considerando-se a tendência de concentrar lagoas salinas em situações topograficamente superiores, replicando para aquelas lagoas o que ocorre para o conjunto da Nhecolândia, é também tentador supor que as lagoas salinas, de algum modo, estejam mais próximas aos processos que geraram a Nhecolândia.

De acordo com Soares, Soares e Assine (2004), com o fim do regime desértico, as depressões de deflação foram inundadas, constituindo lagoas. Uma parte delas, retrabalhadas por correntes, foram parcialmente conectadas em forma de rosário e incorporadas à rede de drenagem. Já outras, permanecendo isoladas e abastecidas apenas pelo freático, tornaram-se salinas. Esta hipótese encontra respaldo na concentração de lagoas salinas em áreas suavemente soerguidas e na suposição de estarem ligadas mais proximamente às origens da Nhecolândia. Em sendo assim, o padrão geral da disposição das lagoas salinas, tornadas assim feições reliquiares, seria o de áreas preservadas dos retrabalhamentos por correntes, embora a proteção contra as inundações possa também se dar por "cordilheiras", explicando a presença de lagoas salinas em áreas susceptíveis às inundações. As lagoas hipossalinas, ao contrário, se concentrariam nas áreas mais incorporadas à drenagem geral da bacia. Entretanto os padrões de distribuição aqui encontrados não parecem se adaptar ao modelo, sugerindo a intervenção de outros processos. Além disso, há evidências de ocorrer localmente um crescente isolamento de lagoas, sugerindo haver a transformação atual de salinas em hipossalinas e vice-versa, como apresentado em Almeida et al. (2003).

Geologi

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao casal Aparecida e Eduardo Bettencourt, proprietários da Fazenda Firme, pela hospedagem e auxílio nos trabalhos de campo na região das fazendas Firme e Santo Inácio; à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul e à Embrapa pelo auxílio aos trabalhos de campo cedendo veículos e motoristas e a Ricardo Wey Marques gerente do Parque Estadual do Rio Negro; a José Carlos dos Santos, do Instituto Forpus e Embrapa, a Gustavo Pitaluga do IPC - Instituto de Pesquisas e Perícias do Mato Grosso do Sul e a Wander Benício, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul pelo auxílio aos trabalhos de campo na região sul da Nhecolândia. Agradecem finalmente às observações dos pareceres, que permitiram melhora significativa do trabalho. Deborah Mendes agradece à Capes pela bolsa de Mestrado e Joel Barbujiani Sígolo ao CNPq pela bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. de. Geomorfologia da região de Corumbá. Boletim da Associação de Geógrafos do Brasil, n. 3, p. 8-18. 1943.

ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do sudoeste Matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*, n. 116, p. 1-118. 1945. ALMEIDA, T. I. R.; SÍGOLO, J. B.; FERNANDES; E. QUEIROZ NETO, J. P.; BARBIERO, L.; SAKAMOTO, A. Y. Proposta de classificação e gênese das lagoas da baixa Nhecolândia - MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 83-90. 2003.

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES; E.; MENDES, D.; BRAN-CO, F. C.; SÍGOLO, J. B. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PAN-TANAL, 1., 2006, Campo Grande, *Anais*... Campo Grande, 2006. p. 155-164.

ASSINE, M. Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, centro-oeste Brasil. 2003. 106 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

ASSUMPÇÃO, M. Focal mechanisms of small earthquakes in the southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. *Geophysical International Journal*, n. 133, p. 490-498. 1998.

BRANCO, F. C. *Filtros de convolução passa baixas no realce tonal de imagens*. 1998. 78 f. Dissertação (Mestrado) -Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CERQUEIRA, E. O.; POPPI, R. J. E.; KUBOTA, L. T.; MELLO, C. Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 690-698. 2000.

FERNANDES, E.; SAKAMOTO, A. Y.; QUEIRÓZ-NETO, J. P.; LUCATI, M. H.; CAPELARI, B. Le Pantanal de Nhecolândia Mato Grosso: cadre physique et dynamique hydrologique. *Supplement de Geographie Fisique et Dinamique du Quaternaire*, v. 22, p. 13-21, 1999.

FERNANDES, E. Caracterização dos elementos do meio físico e da dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense). 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado) -Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES, E. et al. Identification et organisation spatiale des milieux hydriques acides et alcalins et leurs rapports avec lês formes du relief dans le Pantanal de Nhecolandia (Brésil). In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2005, Zaragoza. *Abstract volume...* Zaragoza, 2005. p. 123.

FERNANDES, E. Organização espacial dos componentes da paisagem regional da Baixa Nhecolândia – Pantanal de Mato Grosso do Sul. 2007. 176 f. Tese (Doutorado) -Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GESICKI, A. L. D.; RICCOMINI, C. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In:. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998. p. 84.

KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, J. O. A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from shuttle radar topography mission and national elevation datasets. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n. 3, p. 339-358, 2004.

KLAMMER, G Die Paläowüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne klimageschichte der brasilianischen randtropen. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, v. 26, n. 4, p. 393-416, 1982.

MELERO, M. G.; FERNANDES, E.; CAPELLARI, B.; ALMEIDA, T. I. R.; SIGOLO, J. B. Application des techniques de la télédétection pour la reconnaissance et quantification des formes du relief au Pantanal de Nhecolândia (Brésil). In: INTERNATIONALCONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2005, Zaragoza. *Abstracts volume*... Zaragoza, 2005. p. 390-390.

MOURÃO, G. Limnologia comparativa de Três Lagoas (Duas "Baias" e uma "Salina") do Pantanal da Nhecolândia. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.

PAIVA, G.; LEINZ, V. Contribuição para a geologia do petróleo no sudoeste de Mato Grosso. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral* – Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 37, p. 1-99, 1939.

RABELO, L.; SOARES, P. C. Lineamento transbrasiliano e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONIC STUDIES AND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY, 7. 1999, Lençóis. *Anais...* Lençóis: SBG, 1999. p. 79-82.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. *An assessment of the SRTM topographic products*. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 2005. p. 1-143. (Technical Report, JPL D-31639).

SAKAMOTO, A. Y. *Dinâmica hídrica em uma Lagoa Salina e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia*: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação, Fazenda São Miguel do Firme, MS. 1997. 142 f. Tese. (Doutoramento) - Departamento de Geografía, Faculdade de Filosofía, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SHIRAIWA, S. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da bacia do Pantanal.* 1994. 314 f. Tese (Doutoramento) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 1703-1711, 1998. Número especial.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L.; RABELO, L. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationship to the transbrasiliano Lineament. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1998. p. 459-469.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; ASSINE, L. Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 211-224, 2004.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Basement reactivation in a sub-Andean Foreland flexural bulge; the Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, v. 18, n. 1, p. 25-39. 1999.