

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Esta dissertação será apresentada incluindo textos na forma de artigos científicos, em dois artigos redigidos em língua portuguesa, um já publicado e outro submetido à publicação, incluídos no corpo do texto. Cada um deles trata de aspectos do tema abordado ao longo desta pesquisa.

O capítulo introdutório contém a localização da área de pesquisa e apresentação do tema abordado, incluindo a descrição geológica e a metodologia utilizada no processamento das imagens. O segundo e o terceiro capítulos se referem aos artigos. O quarto e o quinto capítulos abrangem as discussões sobre os dados obtidos e a conclusão deste trabalho.

Em anexo encontram-se a carta de submissão do artigo citado, um resumo e um trabalho completo apresentados em eventos científicos ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O acesso à área de estudo se dá a partir de Campo Grande, sentido Corumbá, pela Rodovia BR-262, onde, 100 km após a cidade de Miranda, chega-se ao entroncamento denominado Buraco das Piranhas, que dá acesso à Estrada Parque Pantanal, a qual compreende trechos da MS-184 e da antiga rodovia da Integração, MS-228 (**Figura 1.1**).

1.4. JUSTIFICATIVA

O Pantanal da Nhecolândia a par de suas características únicas, mesclando em uma planície de grande monotonia sedimentar lagoas ácidas e hiperalcalinas, tem sua gênese recente pouco conhecida. A possibilidade de influência tectônica é grande, pois se trata de uma região reconhecidamente com sismicidade ativa e falhas reativadas. Como trabalhar com este tema no interior no Pantanal, se as areias inconsolidadas daquela bacia mascaram registros de eventuais movimentos de blocos?

Por outro lado a diversidade de lagoas apenas sugere, intuitivamente, uma distribuição não aleatória. Como trabalhar dados pré-existentes para realçar a distribuição de lagoas e permitir o cruzamento desta informação com outras, de origem diversa?

A aplicação e o desenvolvimento de filtros passa-baixas aplicáveis à região estudada permitiram responder às perguntas acima e avançar nos objetivos da pesquisa. A publicação dos resultados naturalmente abre perspectivas não apenas para aplicações futuras das filtragens, incluídos os filtros desenvolvidos nesta pesquisa especialmente para o uso daqueles dados em regiões de muito baixo gradiente topográfico, como para releituras das interpretações aqui feitas e para o avanço no conhecimento do Pantanal.

1.5. TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em maio e novembro de 2006 e tiveram o intuito de verificar eventuais feições que pudessem auxiliar na interpretação tectônica da área. Tratando-se de uma bacia com sedimentos arenosos inconsolidados e relevo plano, as perspectivas de se encontrar evidências diretas de atividade em seu interior eram sabidamente pequenas. A visualização dos vários elementos superficiais em campanha destinada à obtenção de dados de hidroquímica, em outro viés de pesquisa do orientador, foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho. Por outro lado a verificação em campo das diferentes características dominantes nas barrancas a SSW e NNE do rio Negro reforçou a interpretação de soerguimento relativo da Nhecolândia em relação à planície vizinha

1.6. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Pantanal é uma extensa planície aluvial com cerca de 200.000 km², caracterizada pela presença de grandes leques aluviais (Soares *et al.*, 2003). Nas épocas de chuva, que vão de março a julho, as águas inundam toda região, o que justifica a denominação Pantanal (Assine, 2003).

Assine e Soares (2004) definem o Pantanal como um complexo e incomum local de sedimentação, que além de controles climáticos e dinâmicos, possui também atividade tectônica. Postula-se que a sedimentação tenha tido início ainda no Terciário, após o tectonismo que causou o desmantelamento da superfície de aplainamento, que se encontra recoberta pelos sedimentos das formações Pantanal e Xaraiés, esta última aflorante nos arredores de Corumbá, além dos Aluviões Recentes. Os sedimentos, essencialmente arenosos, têm suas fontes em rochas sedimentares do planalto, principalmente arenitos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná (Assine & Soares, 2004).

A Formação Xaraiés possui quatro litotipos principais, com passagens transicionais entre si: tufo calcário, com vegetais; fósseis, tufo calcário leve, muito esponjoso; travertino, com gastrópodes, e conglomerados com cimento calcífero. Ocorrem, também, rochas estratificadas que resultaram da substituição de folhelhos da Formação Tamengo pelo calcário Xaraiés. Apresenta coloração branca, estrutura esponjosa e baixa densidade. A origem desta formação está diretamente relacionada com os processos intempéricos atuantes sobre as litologias carbonáticas preexistentes (Godói *et al.*, 2001). Esta formação ocorre nos arredores de Corumbá e Ladário.

A Formação Pantanal é identificada por, além dos sedimentos aluvionares do Pantanal, depósitos de leques aluviais, de taludes e lateritos ferruginosos. Tais depósitos situam-se em áreas não inundáveis e originaram-se sob condições climáticas distintas da atual, possivelmente no Quaternário Antigo. Esta unidade pode ser subdividida em três unidades, sendo que a mais antiga representa a planície aluvial antiga, com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática; a segunda, aflorante nas zonas alagáveis do Pantanal, mais argilosa; e a terceira encontra-se restrita às calhas dos principais drenos da planície, sendo predominantemente areno-argilosa. Os sedimentos da Formação Pantanal se distribuem amplamente pela área, estendendo-se, para oeste, nas repúblicas do Paraguai e da Bolívia. Sua presença é mais acentuada nas porções

ocidentais da área; a leste penetram em áreas cristalinas arrasadas, em franco processo de erosão remontante (Godói *et al.*, 2001).

Os Aluviões Recentes são depósitos restritos às calhas e margens dos principais rios e córregos da área, fora da zona de influência da planície do Pantanal. Os sedimentos variam de argila a areia, sendo que termos mais grosseiros são ocasionais. Algumas ocorrências aluvionares estão localizadas em drenagens provenientes da serra da Bodoquena. Os sedimentos são depositados próximo ao início da planície pantaneira, quando as drenagens que os transportam atingem o seu perfil de equilíbrio no limite oriental do Pantanal (Godói *et al.*, 2001).

1.6.1. Contexto Tectônico Regional

A deposição das faixas Paraguai e Tucavaca é contemporânea, resultante do rifteamento relacionado à abertura da Laurentia a sudeste de Gondwana (Pimentel *et al.*, 1999). Estes cinturões encontram-se orientados segundo um *trend* paralelo à Cadeia Andina, limitados a NE pelo Cráton Amazônico e a SW pelo Maciço Arequipa, ambos estabilizados por volta de 2,0 Ga. O Cinturão Móvel San Ignacio com idade de 1,3 Ga é o primeiro deles, seguido pelos cinturões Sunsás na Bolívia e Aguapeí-Cuiabá no Brasil, com idades de 1,0 Ga. Os cinturões mais novos seriam o Tucavaca na Bolívia e os cinturões Paraguai-Araguaia e Corumbá no Brasil, com idades entre 0,9 e 0,55 Ga (Sousa, 1991).

A Faixa Tucavaca ocorre como uma grande estrutura na Bolívia e exhibe discreta deformação compressiva, destacando-se apenas amplas ondulações e raros cavalgamentos. Sua disposição é sub-ortogonal à Faixa Paraguai (WNW-ESE) (Ruiz, 2005).

A Bacia Sedimentar do Pantanal tem origem relacionada ao contraste de densidade entre as placas litosféricas Sul-Americana (continental) e de Nazca (oceânica), geradora de zona de subducção que causa esforços compressivos na borda oeste do continente com conseqüente soerguimento da Cordilheira dos Andes (Assumpção, 1998). Este movimento provoca uma sobrecarga na crosta continental, instalando-se a leste da cordilheira um sistema típico de *foreland* (**Figura 1.2**) que inclui as zonas geográficas denominadas Zonas Subandinas orientais, quais sejam: Planície do Chaco e Pantanal, as quais se localizam no *foredeep* e *backbulge*, respectivamente. Os padrões de drenagem existentes na planície do Chaco gradam para um nível de base diferente do Pantanal, sugerindo que o *forebulge* age como um alto topográfico que barra os sedimentos no

lado do *foredeep* (Horton & DeCelles, 1997).

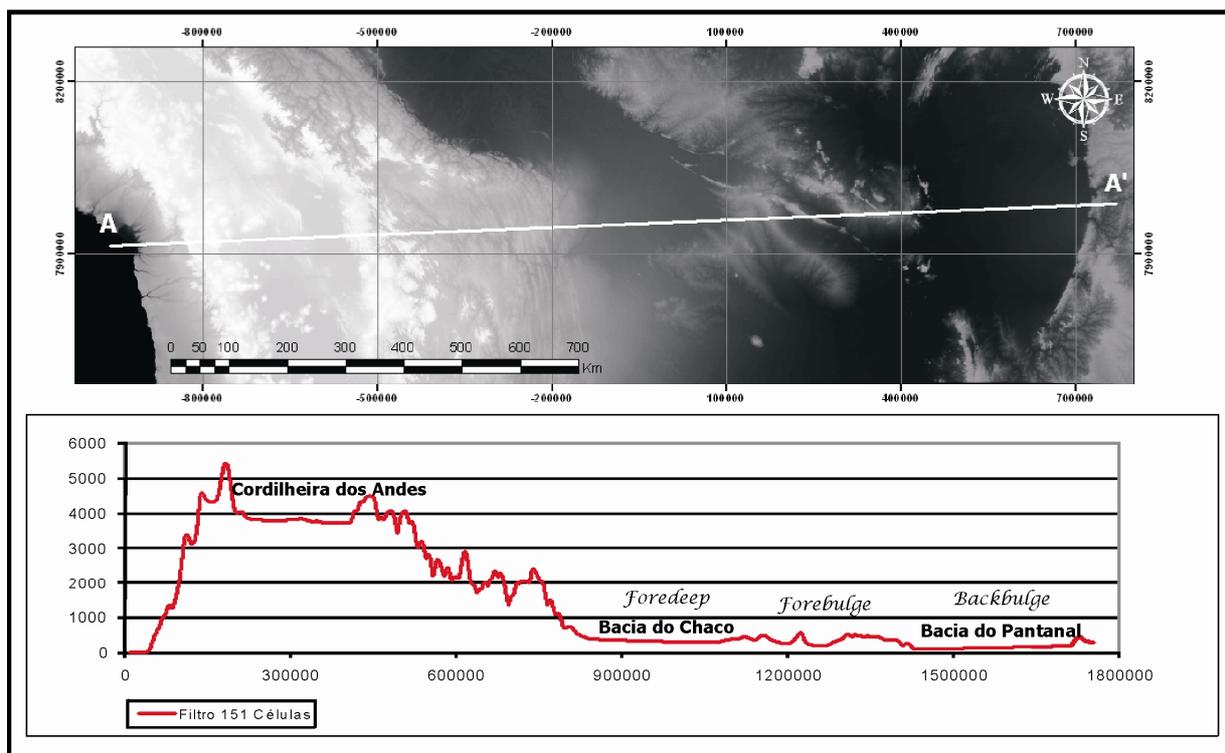


Figura 1.2 – Perfil topográfico Cordilheira dos Andes – Pantanal Matogrossense obtido de Modelo Digital de Elevação gerado de dados SRTM filtrados por filtro passa-baixas ponderado. Observar a bacia de foreland a leste da cordilheira.

No setor da Cordilheira dos Andes que fica entre a Bolívia e o norte da Argentina, o mergulho da Placa de Nazca sob a Placa Sul-americana é de aproximadamente 30°, onde a cordilheira fica consideravelmente mais estreita e a placa subductada fica mais rasa e sub-horizontal (Allmendinger *et al.*, 1997). Horton & DeCelles (1997) postulam que a subsidência que se observa atualmente na bacia pode ser reflexo tanto dos efeitos dinâmicos do baixo ângulo de subducção, produzindo uma deflexão horizontal da litosfera (Mitrovica *et al.*, 1989) quanto dos efeitos isostáticos das rochas alcalinas que compõem a Província Alto Paraguai, referentes ao evento magmático Permo-Triássico (250-240 Ma) que ocorreu ao redor da Bacia do Paraná (Riccomini *et al.*, 2005).

Observam-se algumas áreas de fluxos de alta temperatura na plataforma brasileira, sendo uma delas no Mato Grosso, na borda noroeste da Bacia do Paraná, incluindo também áreas adjacentes aos cinturões brasileiros. Esta região é caracterizada pela presença de grande número

de saltos térmicos que se propagam ao longo de uma zona E-W (Hamza & Muñoz, 1996). Estes fatores, aliados às baixas velocidades das ondas *s* sob as bacias do Pantanal e do Chaco (Assumpção *et al.*, 2006) indicam que a bacia encontra-se em subsidência.

No platô andino, em altitudes acima de 3000 m, stresses N-S predominam. Estresses compressoriais E-W são observados nas regiões sub-andinas e plataformas que se prolongam até 1000 km a leste da cordilheira. O estresse horizontal máximo ($Sh_{m\acute{a}x}$) é uniformemente orientado na direção E-W através do oeste da América do Sul (Assumpção, 1992). Isto define uma zona sísmica que inclui parte do Cráton Amazônico e as bacias do Chaco e Pantanal (Assumpção, 1998).

Outro fator que define uma zona de baixas velocidades das ondas sísmicas é o Lineamento Transbrasiliano (Feng *et al.*, 2004), que em conjunção ao contexto do *foreland*, é uma zona estrutural que tem papel especial no desenvolvimento atual da Bacia do Pantanal, definindo alinhamentos das vazantes no sentido NE na sua zona axial e controlando o rio Paraguai por cerca de 50 km (Soares *et al.*, 1998). O corte causado pelo Lineamento Transbrasiliano é visível no limite norte da Baixa Nhecolândia, onde as lagoas características da região desaparecem dando lugar às áreas aplainadas com poucas e dispersas elevações métricas e grande quantidade de depressões alongadas orientadas no sentido NE-SW. Este corte vai desde os limites da Alta Nhecolândia até a confluência dos rios Taquari e Paraguai, denominado de área da Vazante do Corixinho (Fernandes, 2000).

O lobo atual do rio Taquari vem sofrendo avulsões na altura das Fazendas Caronal e Santa Luzia, além da Avulsão Zé da Costa, todas a norte da área estudada, resultando num novo canal distributário (Assine, 2005). Observa-se um desnível entre o bloco norte, onde se situa o rio Taquari e o bloco sul, onde se situa a Baixa Nhecolândia (BN), já observado por Assine & Soares (2004), indicando que o bloco norte subsidiu em relação ao bloco sul, o que poderia explicar os canais abandonados formando lagoas nesta região e a nova configuração do leque aluvial.

1.6.2. Tectônica Ativa e Rios Aluviais

As movimentações tectônicas na área alteraram o nível de base do Pantanal aumentando o espaço de acomodação dos sedimentos ou rebaixando o perfil de equilíbrio dos rios (Assine, 2003). Rios são particularmente sensíveis às inclinações ocasionadas pelas mudanças de gradiente, especialmente em áreas de baixo gradiente (Holbrook & Schumm, 1999).

A análise das imagens de satélite tem revelado que grande parte das estruturas registradas nas rochas subjacentes é refletida nos sedimentos que constituem a planície pantaneira (Godói *et al.*, 2001). A maior parte do sistema fluvial da Planície do Chaco flui paralelamente ao eixo do *forebulge*, exceto o rio Tucavaca, que o corta no sentido ESE. No Pantanal, os rios fluem a partir da Bacia do Paraná na direção oeste e são desviados para sul ao atingirem o rio Paraguai, que corre paralelamente ao eixo do *forebulge* e define a borda oeste da bacia (Ussami *et al.*, 1999).

A velocidade das taxas de deformação determina o ajustamento do canal de drenagem. Isso pode ocorrer lentamente, conforme a progressão da subsidência e movimentos oscilatórios são comuns (Schumm *et al.*, 2000). Kaizuka (1967) *apud* Schumm *et al.* (2000) sumarizou razões de deformação quaternária pelo mundo e determinou que elas variam entre 0,1 mm e 10 mm por ano. A espessura dos sedimentos da Bacia do Pantanal é estimada em 550 metros a partir de dados sísmicos obtidos pela Petrobrás na década de 70, e a taxa estimada de subsidência no quaternário é de 0,22 mm por ano (Assine & Soares, 2004).

As observações mostram que alguns rios que drenam a região tem cursos com direções correspondentes às feições estruturais que afetam a Baixa Nhecolândia, como o caso dos rios Cuiabá, Piquiri, São Lourenço e Taquari, com direção preferencial NE-SW, paralelos ao LTB, e os rios Correntes, Negro, Miranda, Aquidauana, Aquidabã, Branco e Tererê, com direção que varia de WNW-ESE para NW-SE, paralelos ao Lineamento Tucavaca e ao do Rio Negro, definido neste trabalho. Os rios Aquidabã e Branco possuem deflexões em seus canais, mudando seus cursos da direção SW para a direção NW, bem como o rio Negro, que muda de SE para WNW. Já o rio Piquiri mostra deflexão da direção NW para a direção SW.

Dentre os diversos leques aluviais da Bacia Sedimentar do Pantanal, o mais notável é o Leque Aluvial do Rio Taquari, onde Zani *et al.* (2006), estudando a rede de paleocanais existentes na superfície do leque aluvial, caracterizam seis lobos de deposição sedimentar que testemunhariam a evolução hidromorfológica do cone. A área da Baixa Nhecolândia insere-se no lobo 6, sendo a área que preserva feições relictas mais antigas, indicando que a elaboração dos lobos teria um controle hidrodinâmico e influência dos lineamentos regionais. Vale lembrar que as delimitações dos 6 lobos deposicionais apresentados na Figura 1.3 tem concordância espacial com os 6 compartimentos fisiográficos de Fernandes (2000). Os leques continuam ativos, embora muitos lobos estejam abandonados, em parte estabilizados pela vegetação e em parte submetidos a processos de erosão

devido à superimposição de redes de drenagem tributária (Assine, 2003).

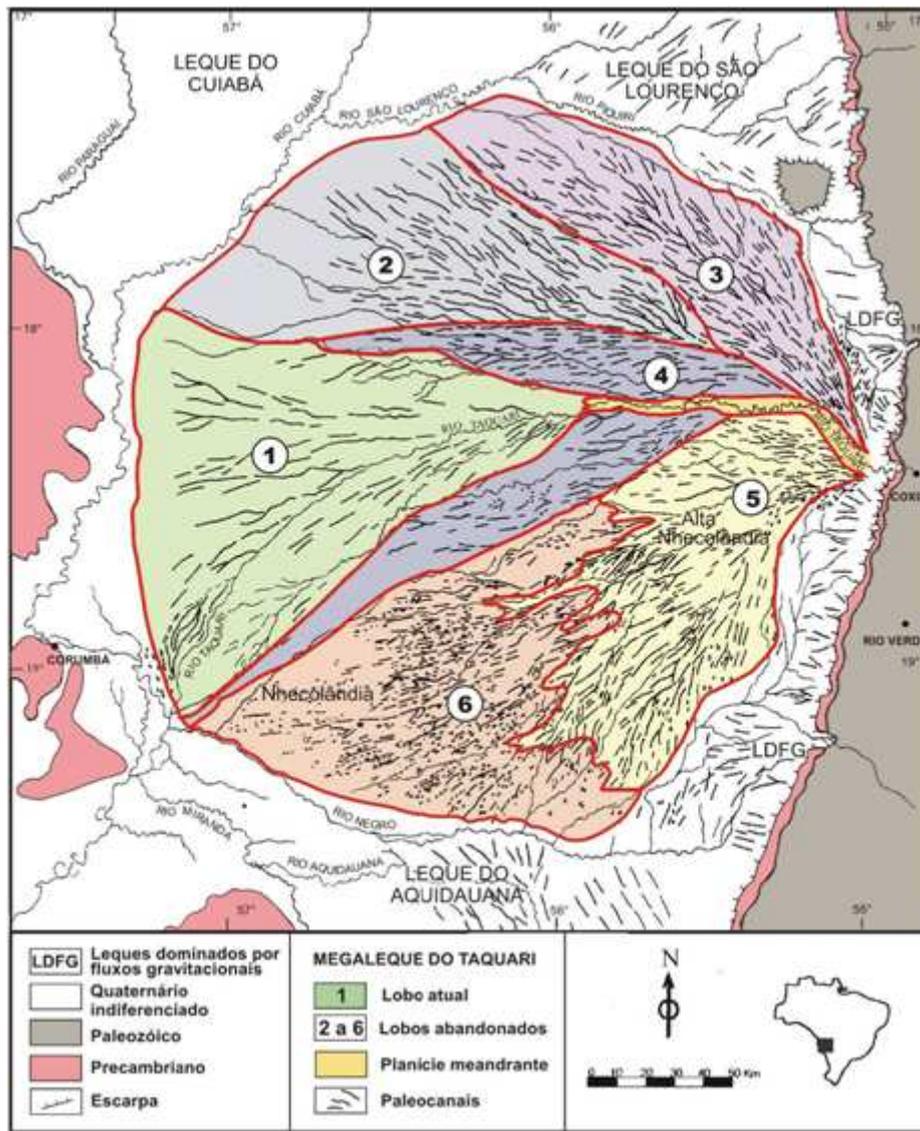


Figura 1.3 – Lobos de deposição sedimentar do Leque Aluvial do Rio Taquari (Zani *et al.*, 2006)

De acordo com Fernandes (2007), o rio Negro, que apresenta linearidades em seu traçado, desce as escarpas da Serra de Maracajú na direção E-W e desemboca na planície pantaneira com curso meandrante em planície estreita e encaixada com nível mais baixo que a planície. Ao encontrar o córrego Anhumas o rio Negro muda de direção, para NNE-SSW, paralelo à Serra de Maracajú-Campo Grande, em curso anastomosado, alcançando estreitas áreas de inundação. Ainda em seu terço superior o rio corre numa área de alagamento, onde seu nível se iguala ao da planície. A partir da confluência com a Vazante Santa Clara ele sofre deflexão de seu canal, mudando sua direção para WNW-ENE e apresentando curso novamente meândrico em estreita planície, com

leito encaixado e nível mais baixo que a planície, onde inicia seu trecho de terço médio. Neste traçado meândrico observam-se deflexões com ângulos próximos aos 90° e quebras de direção de WNW para SW. Mais adiante o rio Negro entra numa área brejosa, o Pantanal do Negro que caracteriza seu terço inferior, tornando-se ramificado, onde recebe águas das vazantes da Baixa Nhecolândia pela margem direita (**Figura 1.4**).

Após sua deflexão, este rio define o fim da Baixa Nhecolândia, onde deságuam vazantes e desaparecem as lagoas características da região dando lugar a uma área brejosa, muito plana e freqüentemente alagada, que coalesce com as planícies dos rios Miranda e Aquidauana (Facincani *et al.*, 2006)

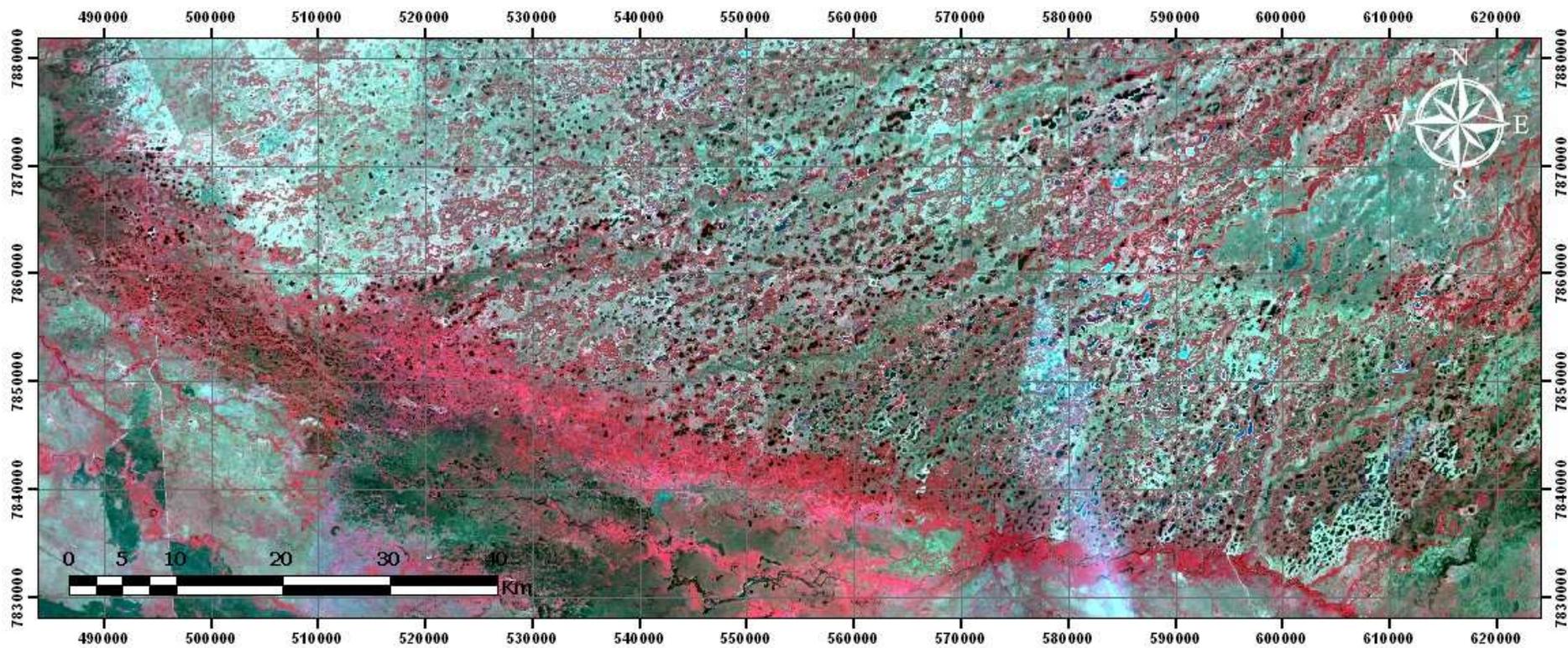


Figura 1.4 – Rio Negro e arredores. Recorte de mosaico de composição colorida de imagens das bandas 321 do sensor ASTER, satélite Terra.

1.7. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS UTILIZADAS

1.7.1. Imagens SRTM

Em fevereiro de 2000 o Shuttle Radar Topography Mission foi colocado em órbita, levando a bordo duas antenas receptoras em arranjo bidimensional, operando nas bandas C e X, sendo a primeira dimensão dada pela posição do sensor ao longo da órbita (azimute) e a segunda a distância na direção de visada do sensor (range). São imagens interferométricas que utilizam radar de abertura sintética (SAR), alternativo ao método estereoscópico tradicional (Santos *et al.*, 2006). Possuem resolução horizontal de 90 metros e exatidão vertical altimétrica de 6 metros (calibrado com pontos de controle no terreno) e 16 metros (sem pontos de controle) (Rabus *et al.*, 2003).

As imagens da banda C foram obtidas no site <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>, gratuitamente. O mosaico destas imagens foi feito no software ENVI 4.3. A locação dos perfis foi feita no software ArcGis 9.2 para posterior obtenção dos arquivos ASCII com a informação topográfica novamente no software ENVI, na opção Profile. Os softwares foram utilizados do Laboratório de Informática Geológica – LIG, no Instituto de Geociências da USP.

A filtragem destas imagens foi uma parte essencial da pesquisa. O filtro linear utilizado é de média móvel, com ponderação dada pelo decaimento linear dos pesos das células com o aumento da distância do centro do filtro, como apresentado no capítulo 3. A necessidade desta filtragem vem principalmente dos ruídos de alta frequência do tipo *speckle*, mas também para minimizar a influência de fragmentos florestais esparsos, como apresentado no capítulo 2.

1.7.2. Processamento de Imagens ASTER e ETM+ Landsat7

No processamento das imagens ópticas utilizou-se o software ENVI 4.3 e restringiu-se à montagem de mosaicos ASTER e ETM+, aumento de contraste, composições coloridas e filtragens direcionais para realçar eventuais feições discordantes das impressas pelos processos sedimentares e erosivos, com o intuito de identificar mudanças nos padrões de drenagens, que podem ser indicativas de mudanças de blocos tectônicos. Para montagem do mosaico utilizou-se a banda ETM+ 4, obtida no infravermelho próximo, por esta realçar o contraste entre água e solo com ou sem vegetação, tornando a visualização das feições morfológicas mais fácil.

Foi também utilizado mosaico de imagens ASTER em composição colorida RGB 321 para

distinguir as lagoas salinas das hipossalinas, a fim de cruzar sua localização com eventuais mudanças nos padrões de drenagem, o qual foi também obtido no software ENVI 4.3.

Para integrar os dados vetoriais e os dados raster, além da montagem final das figuras, foi utilizado o software ArcGis 9.2.

1.7.3. Perfis Altimétricos

Os perfis altimétricos utilizados nos capítulos 2 e 3 foram obtidos a partir das imagens SRTM perpendicularmente às feições estudadas, quais sejam, a Baixa Nhecolândia e seus limites, a norte o Lineamento Transbrasiliano e, a sul, o do rio Negro.

Foram testados filtros de convolução passa-baixas lineares ponderados com dimensões de 25, 51, 101 e 151 elementos sobre os arquivos ASCII referentes aos perfis. O conceito de baixa e alta freqüência é relativo, pois em perfis extensos a pequena escala tornará feições consideradas de baixas freqüências em escalas maiores para feições de alta freqüência. O tamanho dos filtros é, assim, função da escala de trabalho. Para perfis altimétricos que cortem toda a Baixa Nhecolândia um filtro de 151 elementos será mais adequado que um de 25, pois este último deixará passar feições que na escala de trabalho serão de alta freqüência.

Para montagem dos perfis a partir dos arquivos ASCII gerados e execução da filtragem foram utilizadas planilhas do software Microsoft Office Excel 2007.

1.7.4. Filtragem dos mapas rasterizados de lagoas salinas e hipossalinas

As cartas temáticas digitais referentes às lagoas salinas e hipossalinas foram filtradas por filtro passa-baixas proporcional definido em Branco (1998), utilizando-se kernels de 25 x 25, 51 x 51, 101 x 101 e 151 x 151 elementos. Os de tamanho intermediário, com 51 x 51 e 101 x 101 elementos, produziram melhores resultados.

CAPÍTULO 2

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

Trabalho publicado na revista Geologia USP – Série Científica, v.7, n.2, p.95-107, outubro de 2007.

CAPÍTULO 3

LINEAMENTOS TRANSBRASILIANO E RIO NEGRO: POSSÍVEIS LIMITES TECTÔNICOS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA – MS

Trabalho submetido à Revista Brasileira de Geociências em 06/06/2008

LINEAMENTOS TRANSBRASILIANO E RIO NEGRO: POSSÍVEIS LIMITES TECTÔNICOS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA – MS

DEBORAH MENDES^{1,2}, TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA¹ & FÁBIO CARDINALE BRANCO³

Resumo

O Pantanal, a maior superfície inundável do planeta, tem no Pantanal da Nhecolândia um sub-ambiente com a presença de milhares de lagoas em uma bacia de origem tectônica preenchida essencialmente por areias quartzosas, ainda em sedimentação. A origem deste ambiente é ainda discutida, incluindo a gênese de seus limites. A região é muito plana e a identificação de pequenos desníveis alinhados, não associados à dinâmica da sedimentação, foi considerada uma forte indicação de movimentos de origem tectônica. Em campo, tratando-se de areias inconsolidadas, não há registros de tais movimentos para confirmar a hipótese. Assim foram necessários dados altimétricos com boa sensibilidade para toda a bacia. Foram utilizados dados de altimetria gerados pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que apresentam boa resolução vertical, mas enormes ruídos associados ao método que inviabilizam seu uso em regiões planas. Para a minimizar a interferência desses ruídos foi desenvolvido um filtro unidirecional passa-baixas com ponderação gaussiana, que permitiu discriminar as discretas variações na topografia em perfis transversais aos limites norte e sul. Ao norte os dados corroboraram com o limite já definido na literatura, permitindo melhor quantificar o soerguimento da Nhecolândia associado ao Lineamento Transbrasiliano, feição de escala continental a que se associa atividade sísmica na região. Ao sul o limite é menos claro, mas propõe-se associar sua porção sudoeste ao Lineamento do Rio Negro, feição aqui proposta e que se considera associado ao Lineamento Tucavaca. Discute-se ainda o significado deste possível alinhamento tectônico em relação à origem dos milhares de lagoas da Baixa Nhecolândia, aspecto ainda em discussão na literatura.

Palavras-chave: Pantanal da Nhecolândia, neotectônica, SRTM

Abstract *TRANSBRASILIANO AND RIO NEGRO LINEAMENTS: POSSIBLE TECTONICS LIMITS OF THE NHECOLÂNDIA WETLAND – MS*

The Pantanal is the largest wetland of the planet and includes the Pantanal Nhecolândia (Mato Grosso do Sul, Brazil), a sub-environment characterized by thousands of lakes inside a tectonically-formed basin filled essentially by incohesive quartz sands. The origin of this environment, including the genesis of its limits is still a point of discussion. The region is very flat and the identification of small, aligned gaps, not associated with the dynamics of the sedimentation, was taken as strong indication of movements of tectonic origin. As the sands are incohesive, there are no records of such movements that can be seen during field work in order to confirm this hypothesis. The use of high-vertical sensitivity altimetric data was then necessary in the whole basin. The altimetry data were generated by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and present good vertical resolution but huge noise associated with the method characteristics, which makes its use impossible in flat regions. In order to minimize the noise interference an unidirectional filter was developed and allowed the identification of discrete variations in topography along profiles that crosscut the northern and southern limits. To the north the data are coherent with the limit already defined in previous works, being possible to quantify more accurately the uplift of Nhecolândia resulting from the movement of the Transbrasiliano Lineament, a continental-scale structure associated with seismic activity. The southern limit is less clear, but we propose to associate its southwestern part to the Rio Negro Lineament, a structural feature proposed in this work and taken as being associated with the Tucavaca Lineament. We also discuss the significance of this possible tectonic uplift regarding the origin of the thousands of lakes of Lower Nhecolândia, a theme still under discussion.

Keywords: Pantanal da Nhecolândia, neotectonic, SRTM

INTRODUÇÃO

A Bacia do Pantanal é uma feição pouco estudada, quase inexistindo dados de sub-superfície, sendo que alguns se perderam, como os testemunhos das onze sondagens efetuadas pela Petrobrás nos anos 1960 (Weyler 1962). Nestes furos foi alcançada a profundidade de 412,5m sem atingir o embasamento. Dados audiomagnetotelúricos (AMT), entretanto, indicam uma profundidade máxima de até 800 m próximo ao Rio Paraguai, sendo que, na maior parte da bacia, a profundidade média do embasamento varia entre 250 e 500 m. Os resultados de AMT mostraram que a Bacia do Pantanal possui uma geometria assimétrica de hemi-graben, com polaridade para oeste, alongada por 200 km no sentido Norte-Sul (Fisseha 2003).

Dentre os diversos leques aluviais que formam a Bacia Sedimentar do Pantanal, o mais notável é o Leque Aluvial do Rio Taquari. Apresenta feição cônica, com borda quase circular, que se origina no município de Alcinópolis, situado no Planalto de Maracaju – Campo Grande, desenvolvendo-se sobre a planície do Pantanal em direção ao rio Paraguai. Este leque pode ser considerado um megaleque por ser um sistema deposicional complexo com forma quase circular e diâmetro de aproximadamente 250 km (Assine 2003). A sedimentação aluvial nesta região é influenciada pela tectônica, que impõe subsidência diferenciada de blocos e, conseqüentemente, áreas mais susceptíveis à inundação (Latrubesse *et al.* 2005).

O Leque do Taquari contém seis lobos deposicionais, mas pode ser dividido em dois sub-ambientes principais: o Pantanal de Paiaguás na metade Norte e o da Nhecolândia, a Sul, este último com uma área de 54.125km². A Nhecolândia é dividida em Alta (a leste) e Baixa (a oeste) (**Figura 1**). A Baixa Nhecolândia ocupa o mais antigo lobo deposicional, seguido pelo correspondente à Alta Nhecolândia (Zani *et al.* 2006). Entre os diversos sub-ambientes do Pantanal, a Baixa Nhecolândia se distingue pela sua fisiografia peculiar, cuja caracterização, como aborda (Fernandes *et al.* 2007), é essencial para a compreensão daquele ambiente.

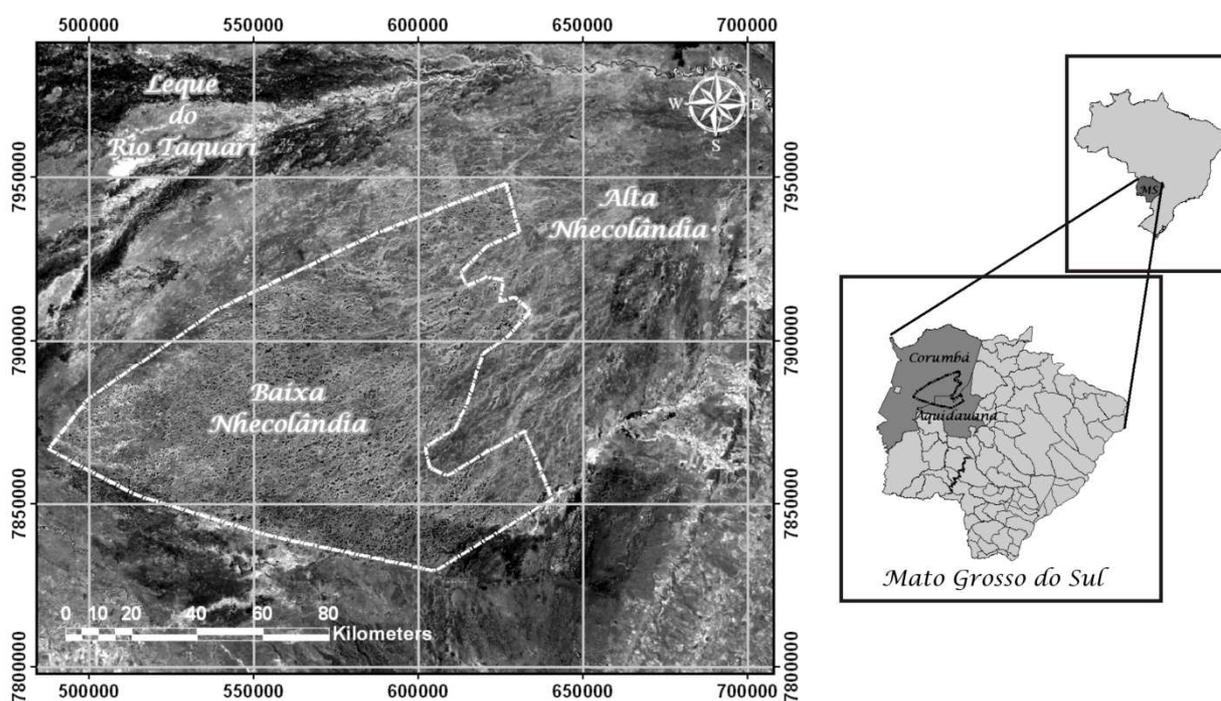


Figura 1 – Localização do Pantanal da Nhecolândia.

Existe um conjunto local de designações para os principais elementos morfológicos da Baixa Nhecolândia, conforme descreveram Almeida & Lima (1959):

“Para o interior do Pantanal, além do leito maior do Paraguai e de seus afluentes, as cheias limitam-se às áreas mais deprimidas do terreno, chamadas ‘baías’, que têm formas diversas, com dimensões variáveis, que quando se tornam irregulares se denominam ‘largos’. (...) As baías separam-se umas das outras por faixas de terrenos elevados, que recebem o nome de ‘cordilheiras’. Algumas baías têm água salgada, denominadas ‘salinas’. (...) Chamam-se ‘barreiros’ as que secam completamente na estiagem. (...) Por ocasião das chuvas há escoamento de uma a outra baía, através de cursos que chegam a ter vários quilômetros de extensão, as ‘vazantes’. Chamam ‘corixos’ a pequenos cursos perenes, que ligam baías contíguas”.

Estes elementos compõem savanas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos florestais em elevações de um a três metros (respectivamente as *vazantes* e as *cordilheiras*) e numerosas lagoas com características espaciais, físicas, químicas e biológicas muito variadas, as *baías*, hipossalinas e de pH variável, as *salinas*, de águas salobras a salinas e de pH básico que pode ultrapassar 10 e, finalmente, as *salobras*, de pH intermediário. As características pouco usuais das lagoas salinas foram inicialmente descritas por Cunha (1943) que mostra resultados de salinidade expressiva. A rede de drenagem interna à Baixa Nhecolândia relaciona-se com dois rios principais: o Taquari e o Negro. As vazantes e corixos recebem águas do rio Taquari e, parte delas, vai desaguar no Pantanal do rio Negro (Fernandes 2000).

A análise de trabalhos enfocando a Baixa Nhecolândia indica que esta fisiografia deva-se a uma complexa e pouco entendida combinação de processos biológicos, hidrológicos, climáticos, sedimentares, geoquímicos e neotectônicos. É notável que este ambiente ocorra apenas no mais antigo lobo, embora se desconheçam diferenças fundamentais no clima e nos sedimentos deste e dos demais lobos do mesmo sistema deposicional que justifiquem um meio físico e biótico tão diverso: embora ocupando apenas uma fração do Leque Aluvial do Taquari e dividindo com a bacia a Norte o mesmo substrato, a Baixa Nhecolândia possui limites bruscos a sul e a norte. O limite norte tem certamente origem tectônica associada à reativação do Lineamento Transbrasiliano (LTB), como já defendido por Soares *et al.* (1998) e Assine (2003), representando um aparente alçamento da Nhecolândia em relação à região a norte. Já o limite Sul, dado principalmente pelo rio Negro, é menos discutido e é virtualmente ausente da literatura. Discute-se neste trabalho evidências de que seja, tal como é localmente o LTB, um limite tectônico da Baixa Nhecolândia.

Nesta pesquisa foram utilizadas essencialmente três fontes de informação: imagens de sensoriamento remoto de média resolução espacial (Landsat ETM), cartas e mosaicos de imagens orbitais em pequena escala e dados altimétricos do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Pantanal é a mais extensa planície inundável da Terra, com 138.183km², podendo ser dividida em onze sub-regiões com características muito distintas (Silva & Abdon 1998). Esta planície é quase perfeitamente coincidente com a Bacia Sedimentar do Pantanal, definida por Almeida (1945). É uma depressão tectônica interior do Plioceno, originada por movimentos relativos das Placas Sul-Americana e de Nazca (Assumpção 1998b; Ussami et al. 1999) e está instalada em um sistema distensional típico de *foreland* no antepaís da cordilheira dos Andes, que inclui as zonas geográficas denominadas Zonas Subandinas orientais, quais sejam: Planície do Chaco, Planície Beni e Pantanal. Esta última se localiza especificamente no *backbulge* (Horton & DeCelles 1997).

Há evidências de atividade sísmica na bacia ao longo do Lineamento Transbrasiliano (Rabelo & Soares 1999) e na sua borda Sul (Gesick & Riccomini 1998), concentrando sismos de intensidade importante (Assumpção 1998a). Tais sismos estão alinhados com os epicentros da zona sísmica de Goiás, sugerindo relacionarem-se com reativação do Lineamento Transbrasiliano (Assine 2003). As baixas velocidades das ondas *p* que ocorrem sob a Bacia do Pantanal, são interpretadas como de astenosfera rasa, caracterizadas pela presença de grande número de aumentos anômalos no fluxo térmico (Hamza & Muñoz 1996). Nestas áreas de alto grau geotérmico o manto superior causa a maior parte das forças que se concentram na crosta superior, conferindo essa sismicidade. O tectonismo recente indica zonas de fraquezas crustais profundas (Assumpção *et al.* 2004). Esta feição é consistente com as anomalias positivas *Bouguer* e *free-air* observadas por Shiraiwa & Ussami (2001), interpretadas como de alta densidade crustal das rochas do embasamento.

No embasamento da Bacia do Pantanal predominam rochas metamórficas neoproterozóicas da Faixa Paraguai, ocorrendo também rochas do Cráton Rio Apa e rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

A borda leste da bacia é definida pela unidade geomorfológica do planalto de Maracajú-Campo Grande, uma escarpa linear de direção NNE-SSW, onde afloram rochas pré-cambrianas do Grupo Cuiabá e rochas paleozóicas da Bacia do Paraná (Facincani *et al.* 2006).

O arcabouço tectono-estrutural original dessas coberturas superficiais é atribuído a um sistema de falhas de direção aproximadamente N-S, grosseiramente coincidente com o curso regional do rio Paraguai. A análise das imagens de satélite tem revelado que grande parte das estruturas registradas nas rochas subjacentes é presente nos sedimentos que constituem a planície pantaneira. As observações mostram que os rios que drenam a região, como Amoguijá, Tererê, Branco, Aquidabã, Nabileque, Naitaca, São Sebastião, Veado Gordo, Miranda, Negro, Taquari e outros, revelam uma direção preferencial NE-SW e outra aproximadamente W-E (Godói *et al.* 2001).

Duas linhas de aeromagnetometria exploratória, obtidas no Pantanal em direções aproximadas N-S e E-W, mostram anomalias que indicam uma estruturação na direção E-W, em contraste marcante com as tendências predominantes das estruturas proterozóicas da região. Os Lineamentos mais salientes originam-se de falhas, geralmente orientadas na direção NE-SW, que caracterizam uma série de *grabens* e *horsts* (Hales 1981). As direções E-W se devem aos esforços compressivos que incluem parte do Cráton Amazônico e a Bacia do

Pantanal no Brasil e a Bacia do Chaco no Paraguai. Ainda que esta contenha diferentes províncias geológicas, os poucos mecanismos focais disponíveis são compatíveis com um campo de esforço mais ou menos uniforme com a tensão horizontal máxima de direção geral E-W (Assumpção 1998b), podendo se relacionar com direções de captura de drenagens e mudanças de seus padrões de canal.

A tectônica tem desempenhado papel importante no desenvolvimento da paisagem do Pantanal como um todo, mudando níveis de base e gradientes topográficos (Assine 2003). Rios são particularmente sensíveis às inclinações, especialmente em áreas de baixo gradiente (Holbrook & Schumm 1999). Rios aluviais fluem através de sedimentos que foram erodidos e depositados pelo próprio rio, ou seja, terraços aluviais mais antigos e rochas do embasamento não os afetam ou os constroem significativamente. Sua morfologia reflete um balanço entre o poder erosivo do fluxo e a resistência à erosão do material do leito ou das margens. As taxas de deformação são responsáveis pelo ajustamento do canal, sendo que movimentos oscilatórios são comuns (Schumm et al. 2000).

Kaizuka (1967) *apud* Schumm et al. (2000) resumiu razões de deformação quaternária ao longo do planeta e determinou que elas variam entre 0,1 mm e 10 mm por ano. A taxa estimada de subsidência no quaternário da Bacia do Pantanal é de 0,22 mm por ano (Assine 2005).

Riachos respondem ao deslocamento vertical ao longo de falhas por agradiação ou degradação (Schumm et al. 2000), porém é necessária cautela quando se usa agradiação ou degradação como indicadores de deformação sindeposicional em perfis de drenagem. Flutuações na descarga, bem como a carga dos sedimentos, podem causar agradiação ou degradação num rio (Holbrook & Schumm 1999).

O rio Negro pode ser classificado como um rio “ramificado” (anabranching river), o qual se desenvolve pela deposição de sedimentos nos canais de drenagem, pela progradação de canais distributários em deltas ou, ainda, pela avulsão de canais. Difere dos sistemas entrelaçados e anastomosados pelo fato de suas ilhas persistirem por décadas, possuir uma vegetação bem desenvolvida e bancos relativamente estáveis. Possuem, aproximadamente, a mesma elevação da planície de inundação e os canais entre as ilhas podem ser retos, meandranes ou entrelaçados. O entrelaçamento é favorecido por flutuações rápidas da descarga, de um valor absoluto maior que nos rios meandranes. Os rios entrelaçados, em geral, têm declives maiores, carga mais grossa e bancos mais facilmente erodíveis (Nanson & Knighton 1996).

A formação de lagos agrupados em áreas aluviais é resultado, normalmente, de processos regionais relacionados ao clima/paleoclima ou neotectônica, ou, frequentemente, uma associação dos dois processos. Um rift continental gera basculamento progressivo dos blocos marginais em direções opostas, o que muda significativamente o gradiente dos rios. O desarranjo geológico recente desses sistemas de drenagem é resultado de soerguimento, formando os “*ria lakes (blocked valley lakes)*” (Schumm et al. 2000).

Lineamento Transbrasiliano

O limite norte da Nhecolândia é dado por lineamento claramente definido, de direção NE, que vem sendo associado por diversos autores, como Soares et al. (1998) e Assine (2003), ao LTB. Esta extensa feição

tectônica que corta o Brasil foi definida por Schobbenhaus *et al.* (1975) e é estrutura com componente transcorrente dextral e idade neoproterozóica. Diversas evidências de atividade neotectônica do LTB são conhecidas, como cita Soares *et al.* (1998) em que, a leste de Corumbá, o rio Paraguai, que flui, aproximadamente, no sentido Norte-Sul e é capturado ao cruzar o lineamento, passando, após uma brusca deflexão, a correr sobre o LTB por 50km na direção SW. Evidências adicionais de atividade tectônica atual daquele lineamento são dadas pela sismicidade a ele associada em localidades distantes milhares de quilômetros, como nas Bacias do Bananal (Brito Neves *et al.* 1999) e Pantanal (Rabelo & Soares 1999). De acordo com Cordani e Sato (1999) este lineamento é uma megassutura que separa porções continentais como o Cráton Amazônico e o de São Luís da colagem de fragmentos cratônicos do oeste de Gondwana, entre os quais os do São Francisco e La Plata.

O LTB coincide com o término abrupto da Baixa Nhecolândia, com sua característica fisiografia dando lugar a áreas aplainadas com poucas e dispersas elevações métricas e grande quantidade de depressões alongadas orientadas no sentido NE-SW, indo desde os limites da Alta Nhecolândia até a confluência dos rios Taquari e Paraguai, denominada de área da Vazante do Corixinho (Fernandes 2000). Ao LTB associa-se, de acordo com Assine & Soares (2004), um desnível entre as duas áreas, com a Baixa Nhecolândia se encontrando topograficamente mais elevada que a região adjacente. Isto poderia explicar a existência de canais abandonados formando lagoas em rosário e a nova configuração do leque aluvial.

São grandes as evidências, assim, de que o LTB não apenas influencia fortemente a dinâmica de erosão, sedimentação, estabelecimento do leque aluvial e locação do fluxo do canal nas bacias do Pantanal e Chaco (Soares *et al.* 1998) como é elemento essencial na gênese da Baixa Nhecolândia.

O Lineamento Tucavaca e o Lineamento do Rio Negro

A Faixa Tucavaca, descrita por Litherland *et al.* (1986), ocorre como uma grande estrutura que define a borda leste do Cráton Amazônico na Bolívia e sua disposição é sub-ortogonal à Faixa Paraguai (WNW-ESE), cortando o eixo do *forebulge* em direção ao Pantanal. Segundo Ruiz (2005) a deposição das faixas Paraguai e Tucavaca é contemporânea, havendo correlação estratigráfica entre as unidades que as compõem (Grupos Boqui, Tucavaca e Murciélagos) e as unidades expostas no sudoeste do Brasil (Grupos Jacadigo e Alto Paraguai).

O rio Negro marca o limite da Baixa Nhecolândia, num Lineamento de direção WNW-ESE onde desaguam vazantes e desaparecem as lagoas características da região, dando lugar a uma área brejosa que coalesce com as planícies dos rios Miranda e Aquidauana, dando origem a uma área muito plana, frequentemente alagada (Facincani *et al.* 2006). Interessante observar que as margens do rio Negro, na região da Fazenda Rio Negro, são altas na margem direita, a voltada para a Baixa Nhecolândia, e baixas, sem barranca, na margem esquerda (Almeida, informação verbal). Segundo Brito Neves *et al.* (1985) e Jones (1985) *apud* Boggiani (1998), o Lineamento Tucavaca inflete para sul formando uma junção tríplice na região de Corumbá.

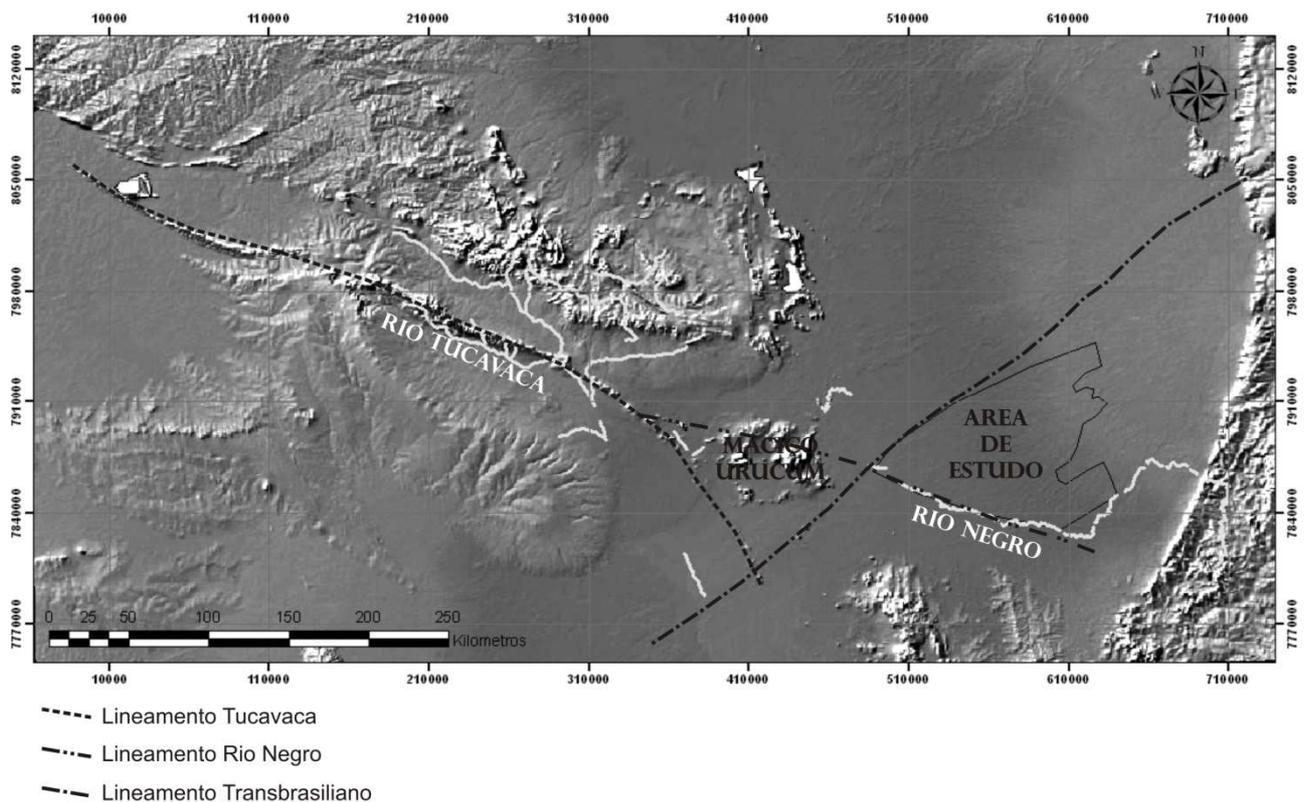


Figura 2 – Localização da Faixa Tucavaca e sua ramificação, que segue em direção ao rio Negro, na Bacia do Pantanal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Imagens Utilizadas

SRTM é um projeto cooperativo entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos e pelo Centro Aeroespacial Alemão (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR*) e pela Agência Espacial Italiana (*Agenzia Spaziale Italiana – ASI*). O objetivo do SRTM era adquirir um modelo digital de elevação entre 60° de latitude norte e 56° de latitude sul, totalizando aproximadamente 80% da superfície da Terra (Farr & Kobrick 2000).

Em termos quantitativos, os produtos cartográficos derivados dos dados SRTM foram amostrados num grid de 1 x 1 arco-segundo (aproximadamente 30 x 30 m), com erro vertical linear absoluto menor que 16 m, e erro vertical linear relativo menor que 10 m, erro circular de geolocalização absoluto menor que 20 m e erro circular relativo de geolocalização menor que 15 m. SRTM emprega dois radares de abertura sintética, um sistema banda C (C-RADAR=5,6 cm) e um sistema banda X (X-RADAR=3,1 cm). A NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) foi responsável pelo C-RADAR (Farr *et al.* 2007).

A interferometria de radar consiste na aquisição de duas imagens simultaneamente com locações ligeiramente diferentes produzindo uma imagem de diferença de fase contendo informações topográficas. As duas imagens

podem ser obtidas simultaneamente, ou a diferentes tempos, como é o caso da maioria dos sistemas aerotransportados prévios. Para minimizar os problemas com a interferometria de passagem repetida, o SRTM adquiriu as imagens simultaneamente. O SRTM utilizou o mesmo tipo de radar do Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR). Para coletar os dados interferométricos, o SRTM conta com um mastro de 60 metros com uma banda C adicional, e com um aperfeiçoamento na rota e navegação dos instrumentos (Farr & Kobrick 2000).

Os dois principais problemas inerentes ao método, referem-se à reflexão da banda C-RADAR na superfície dos dosséis, não atingindo a superfície do solo (o comprimento de onda de 5,6 cm não atravessa a cobertura florestal) e ao ruído de interferência de fase (Kellndorfer *et al.* 2004), representado pela introdução de variações de alta frequência no sinal recebido, que não representam feições reais do terreno. O erro de altitude ao informar do topo do dossel não pode ser corrigido e implica na introdução de variações de média frequência em um ambiente que é muito plano e apresenta alternância de savanas e formações florestais, como na Nhecolândia. Para minimizar o problema relativo à reflexão da banda C-RADAR pelo dossel, devem-se escolher locais para obter os perfis altimétricos em que haja o mesmo padrão de cobertura vegetal de ambos os lados das feições analisadas. Já com referência ao ruído de interferências construtivas e destrutivas por diferenças de fase, do tipo *speckle*, há a possibilidade de minimizar notavelmente o problema, pois a distribuição dos erros em valores negativos e positivos é quase perfeitamente gaussiana (Rodriguez *et al.* 2005). O histograma dos erros para a América do Sul, apresentado 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. As opções para tratar este ruído passam sempre por filtros digitais voltados a eliminar as variações de frequência muito elevada, permitindo a visualização das tendências da topografia, ou seja, das variações de baixas frequências.

- As imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 foram utilizadas neste trabalho apenas para localização dos perfis altimétricos. Foi feito um mosaico das bandas ETM4 das cenas 226/073 e 226/074, obtidas respectivamente em 28/09/2002 e 05/06/2001.

Filtragens Utilizadas

Nesta pesquisa adotou-se filtro unidimensional passa-baixas, conforme apresentado em Almeida *et al.* (2007), que procura combinar o caráter gaussiano do *speckle* com uma ponderação gaussiana que favorece a altitude indicada no pixel a ser substituído e progressivamente menos aos pixels mais distantes. Com este artifício procurou-se reduzir o ruído resultante do *speckle*, realçado pelo grande exagero vertical (aproximadamente 400x) e parte da influência da vegetação, responsável pelas maiores variações de altitude na região (Valeriano e Abdon 2006).

O filtro linear utilizado caracteriza-se como de média móvel ponderada, porém a equação que o define estabelece um decaimento linear dos pesos das células em relação à distância do centro do filtro. A **Equação 1** define os pesos atribuídos às diferentes células do filtro (exceto no caso da célula central):

$$(1) P_{(i)} = P_{(i-1)} - (P_{(i-1)} * k * i)$$

onde:

$P_{(i)}$ = peso atribuído à célula do filtro na posição i

i = indica a posição da célula do filtro, sendo $i=0$ no ponto central

k = fator de intensidade da filtragem

Nessa forma de anotação, o peso de cada célula seria dependente do peso da célula anterior, da distância dessa célula ao centro do filtro (i) e do fator “ k ”, sendo que quanto maior o “ k ”, mais intensa será a filtragem. No caso estudado, preferimos utilizar o fator de intensidade de 0,001, pois como a topografia da região apresenta desníveis muito pequenos, o aumento desse fator poderia, em tese, gerar artefatos significativos, de difícil dissociação da topografia real.

Note-se que o valor da célula central do filtro não é calculado (na célula central, temos $i=0$ e não existe $P_{(i-1)}$). Este valor deve ser definido pelo operador, podendo ser zero, para a aplicação do filtro original ou maior que zero, para a utilização de filtrações atenuadas. No presente estudo, foi utilizado o valor 10 para o ponto central, de modo a gerar uma filtragem atenuada.

O tamanho máximo de um filtro desse tipo é definido pela **Equação 2**:

$$(2) i_{\text{máx}}=1/k \text{ ou } D_{\text{máx}}=1+(2/k)$$

onde:

$i_{\text{máx}}$ = valor máximo a ser atribuído a i

$D_{\text{máx}}$ = máxima dimensão do filtro

Caso a dimensão do filtro seja maior que a estipulada pela equação acima, as células mais distantes do centro (distâncias acima de $i=1/k$) terão valores negativos.

Com base no filtro gerado a partir das equações acima, a equação de aplicação do filtro ao perfil extraído da imagem SRTM seria, portanto, a **Equação 3**.

$$(3) F_{(j)} = \sum_{i=-d}^{i=+d} (I_{(i+j)} * P_{(i)})$$

onde:

$F_{(j)}$ = perfil filtrado;

$I_{(j)}$ = perfil original;

$P_{(i)}$ = peso atribuído à célula do filtro na posição i

d = metade da dimensão do filtro (máxima distância do centro)

RESULTADOS

Caracterização dos Limites da Baixa Nhecolândia

O perfil altimétrico apresentado cobre a Baixa Nhecolândia desde as proximidades do rio Taquari até a porção a sul do rio Negro (**Figura 3**), de modo a evidenciar as maiores altitudes da Baixa Nhecolândia em relação às

planícies vizinhas e cortar os lineamentos Transbrasiliano e do Rio Negro.

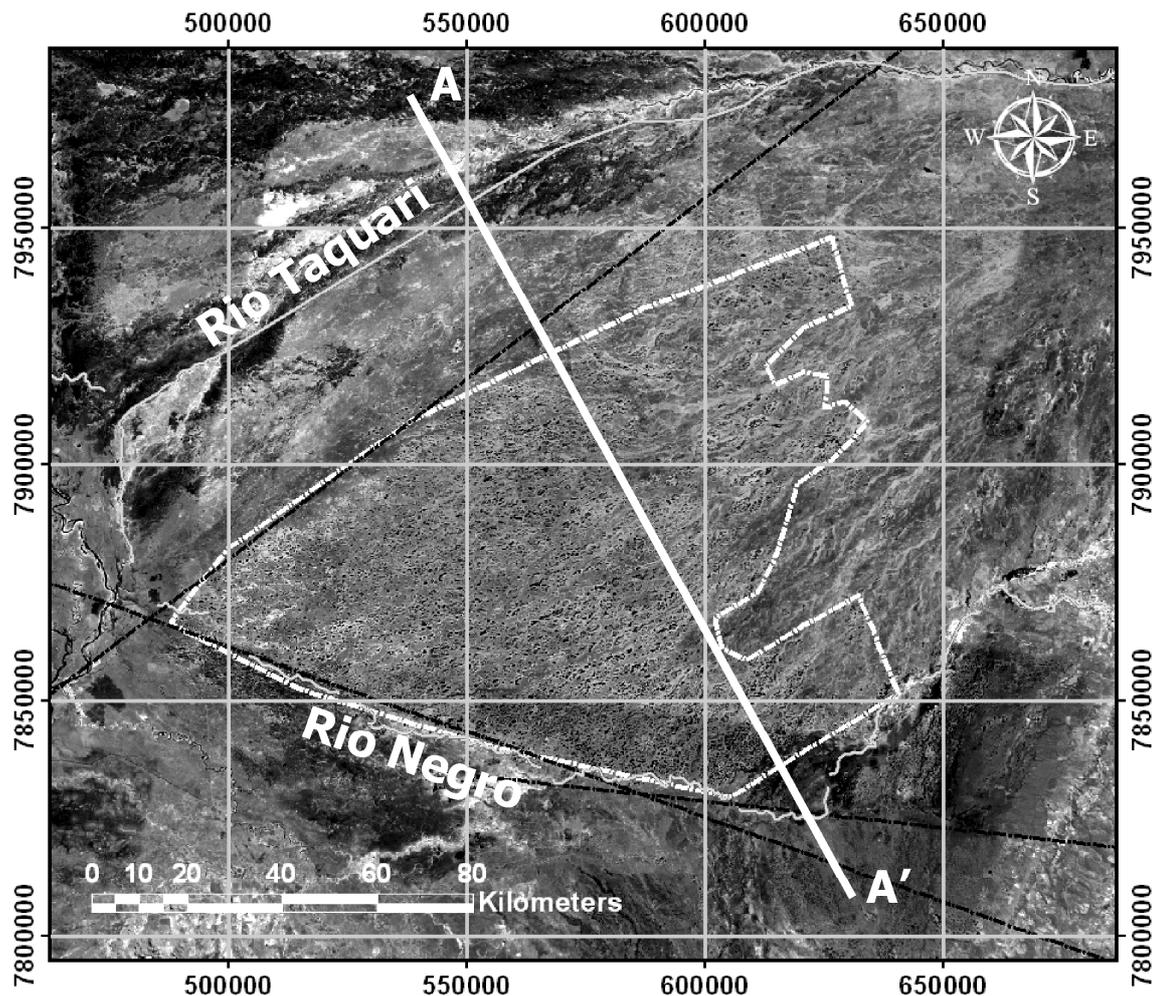


Figura 3 – Localização do perfil transversal à Baixa Nhecolândia (direção NW-SE), indicando os limites norte, onde está o Lineamento Transbrasiliano e o limite sul, definido pelo Lineamento do Rio Negro.

A imagem da Figura 4 mostra que a Baixa Nhecolândia possui 2 limites de direção NE-SW, evidenciados pelo LTB, a NW, e pelo terço superior do curso do rio Negro a SE, antes de sua deflexão para NW-SE. Após a mudança de direção o rio Negro passa a ocupar a continuidade do Lineamento Tucavaca e coincide com o limite SW da Baixa Nhecolândia. Os perfil altimétrico da Figura 4 mostra a associação de quebras no relevo aos LTB e LRN e as maiores altitudes associadas ao interior da Baixa Nhecolândia. A informação da quebra de relevo associada ao LTB é descrita na literatura, mas a associada ao LRN e a maior altitude da Baixa Nhecolândia são aspectos de grande relevância na análise da gênese daquele ambiente, como se verá ao fim, e estavam, todavia, ausentes da literatura.

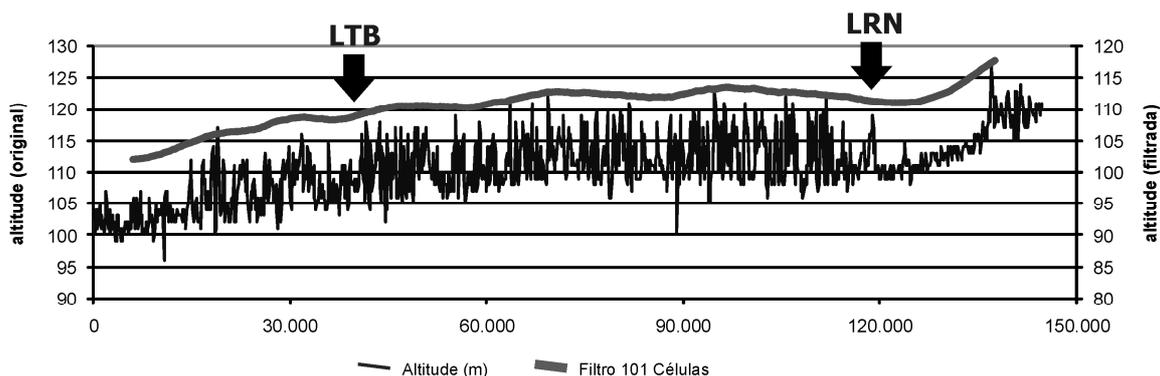


Figura 4 – Perfil obtido em mosaico de imagens SRTM transversalmente à Baixa Nhecolândia, com filtros passa-baixa lineares (média móvel ponderada) de 101 células na porção central da Baixa Nhecolândia, com o limite sudeste dado pelo LRN, com direção NW e o limite noroeste dado pelo LTB, com direção NE. Exagero vertical de 1.600 vezes.

LIMITE SUL: O LINEAMENTO DO RIO NEGRO (LRN)

O rio Negro, que apresenta linearidades em seu traçado, desce as escarpas da Serra de Maracajú na direção E-W desemboca na planície pantaneira, segue em curso meandrante em planície estreita e encaixada com nível mais baixo que a planície. Ao encontrar o córrego Anhumas o rio Negro muda de direção, para NNE-SSW, paralela à da Serra de Maracajú-Campo Grande, em curso anastomosado, alcançando estreitas áreas de inundação. O rio Negro, ainda em seu terço superior corre numa área de alagamento, onde seu nível iguala-se ao da planície. A partir da confluência com a Vazante Santa Clara o rio Negro cruza com a continuidade do Lineamento Tucavaca e muda sua direção para WNW-ENE, apresentando curso novamente meândrico em estreita planície, com leito encaixado e nível mais baixo que a planície, onde inicia seu trecho de terço médio. Neste traçado meândrico observam-se deflexões com ângulos próximos aos 90° e quebras de direção de WNW para SW, indicando a presença de atividade neotectônica atuante naquelas duas direções. Mais adiante o rio Negro entra numa área brejosa, o Pantanal do Negro que caracteriza seu terço inferior. Torna-se aí indistinto, recebendo águas das vazantes da Baixa Nhecolândia pela margem direita (Fernandes 2007).

A observação de imagens em pequena escala permite identificar uma ramificação do Lineamento Tucavaca para ESE, cortando o Maciço de Urucum e seguindo em direção à bacia, onde o rio Negro se encaixa (**Figura 2**). A continuidade do lineamento Tucavaca pode ser observada em imagens SRTM de pequena escala e, logo após cruzar o rio Paraguai, passa a ser coincidente com a direção geral dos dois terços finais do rio Negro, o que aqui se denominou de Lineamento do Rio Negro. Embora de forma menos evidente que o LTB, este lineamento também marca um fim relativamente abrupto do ambiente da Baixa Nhecolândia (**Figura 5**). Ao contrário do observado com o LTB aqui o fim do ambiente da Baixa Nhecolândia dá-se de forma variada, por vezes sem quebra topográfica mas predominantemente com quebra bem marcada e antecedida de uma elevação que sugere a morfologia de um dique marginal, como mostrado na **Figura 6**.

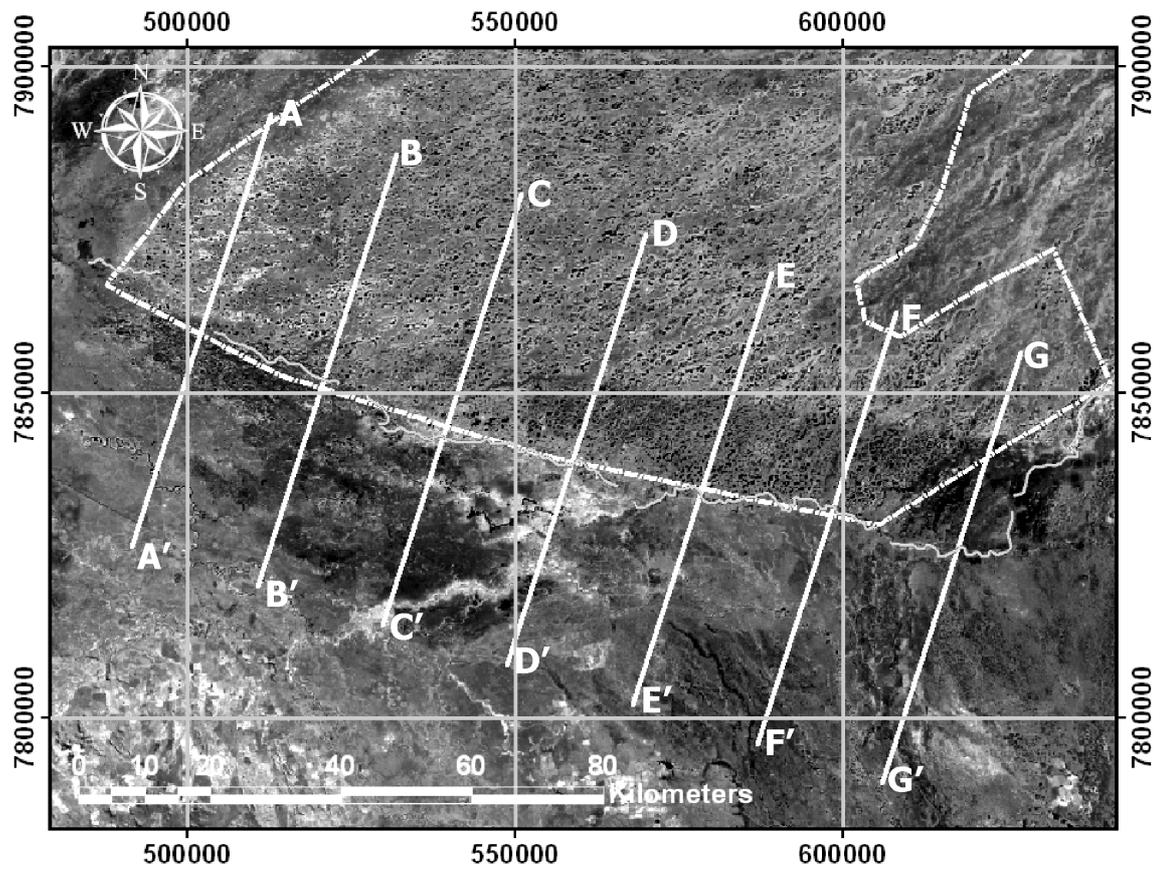


Figura 5 – Segmento de banda 4 de imagem ETM+ mostrando o término da Baixa Nhecolândia e a localização de perfis transversais ao limite da Baixa Nhecolândia com a planície do rio Negro.

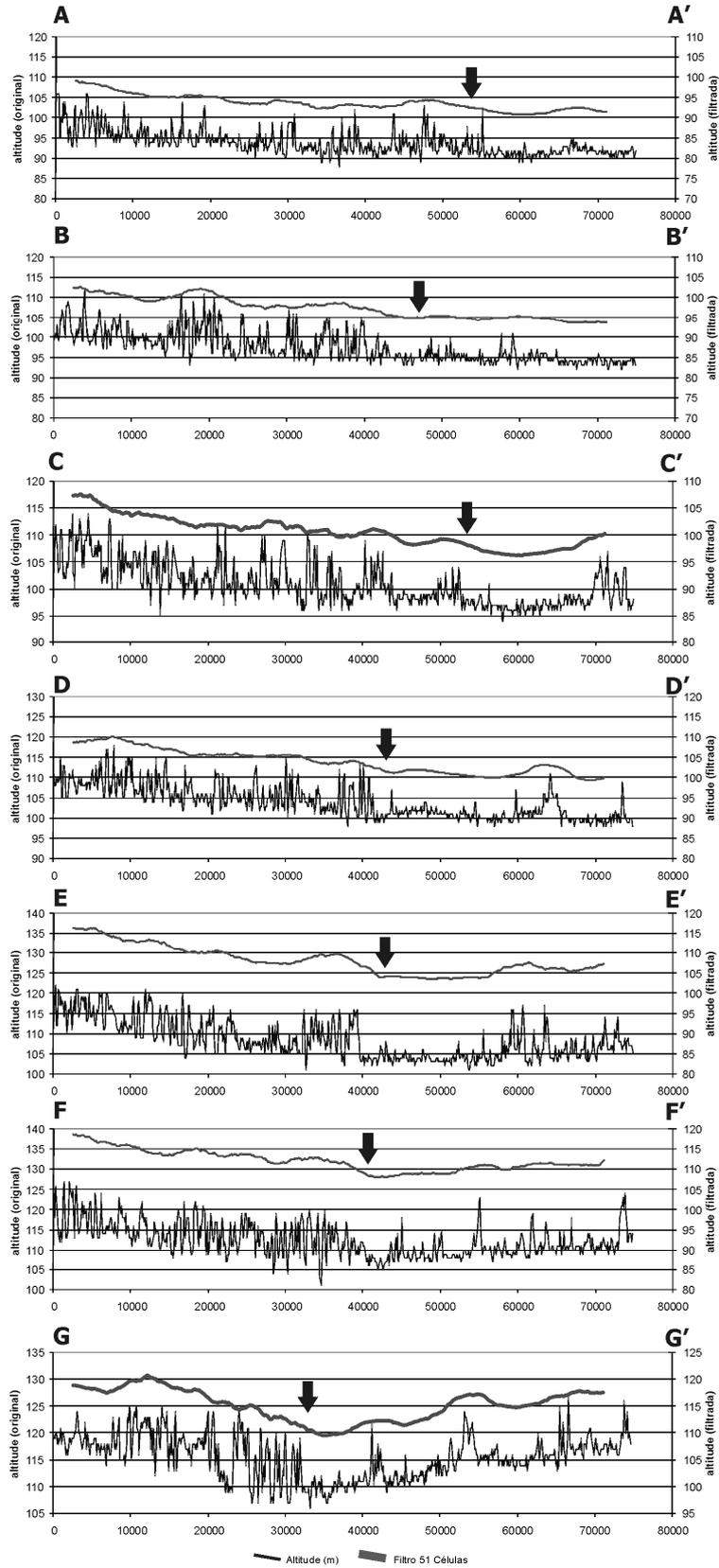


Figura 6 – Perfis obtidos em imagens SRTM do limite entre a Baixa Nhecolândia e a planície do rio Negro. Observar as setas pretas indicando a formação de um dique marginal de jusante para montante. Exagero vertical de 550 vezes.

DISCUSSÃO

A análise dos perfis, tanto os feitos transversalmente à Baixa Nhecolândia como um todo quanto os perfis detalhando o limite a sul, indicam estar a Baixa Nhecolândia soerguida. A formação das lagoas pode ser um indicativo desse soerguimento, pois elas estão orientadas segundo canais de drenagens abandonados e, dispostas em rosário: com o soerguimento da região, composta por areias inconsolidadas altamente permeáveis, teria havido um rebaixamento do nível de base levando ao desaparecimento dos rios e córregos e persistência, agora como lagoas, apenas das porções mais profundas dos canais originais, refletindo o padrão das drenagens anteriores. Segundo Schumm et al. (2000) lagoas desse tipo são coletoras de drenagens e, por vezes, possuem padrões meandantes superimpostos por estes antigos canais, sendo que na região as lagoas coletam águas oriundas do rio Taquari que seguem em direção ao rio Negro.

Ao LTB associa-se uma mudança na fisiografia da região definindo o limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho, como já amplamente discutido na literatura. Neste trabalho confirma-se a anteriormente já sugerida quebra topográfica da ordem de 4 metros associada ao LTB, que segue ativo tectonicamente como indica a sismicidade associada. Já o limite Sul é mais complexo. Na porção sudeste pode haver coincidência com uma direção estruturalmente presente na região, eventualmente associada ao LTB, ou ser apenas o fim de um evento deposicional do megaleque. Após a inflexão do rio Negro para WNW, ao passar a acompanhar a continuidade do Lineamento Tucavaca, é difícil não associar o brusco fim da Baixa Nhecolândia e a quebra de relevo com aquele importante lineamento, que está reconhecidamente presente até nas proximidades da fronteira Brasil-Bolívia. Por outro lado os perfis transversais ao LRN indicam que a quebra topográfica não ocorre tão homogeneamente como com o LTB e sua morfologia, assemelhada a um dique marginal, pode indicar uma origem deposicional, podendo associar-se a processos de assoreamento responsáveis pela formação de terraços aluviais, conferindo à drenagem padrão indistinto.

O uso dos filtros de média móvel ponderada mostrou-se essencial para realçar as sutis variações topográficas que ocorrem na região e, portanto, também essencial para abordar a questão dos limites da Baixa Nhecolândia. Com o aqui apresentado, embora permaneçam dúvidas quanto à origem dos limites sudeste e sudoeste, fica demonstrado estar aquele ambiente mais elevado em relação às planícies vizinhas. Esta posição topograficamente mais elevada, quando analisada à luz do trabalho de Schumm *et al.* (2000), tem grande importância na discussão genética da Baixa Nhecolândia, pois sugere terem os milhares de lagoas da região se originado de rios existentes anteriormente a um processo de soerguimento devido à reativação tectônica de estruturas de idade neoproterozóica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados SRTM filtrados como exposto se mostrou eficiente na detecção de discretas variações topográficas, que puderam ser comparadas às feições estruturais conhecidas pela literatura. Entretanto, não é possível definir a natureza do movimento ou diferenciar feições erosivas/sedimentares de feições estruturais. Mas, através da análise das imagens, pôde-se verificar a potencial associação de parte dos limites da Baixa

Nhecolândia com conhecidas feições estruturais de idade proterozóica, de ocorrência em áreas externas à da Bacia do Pantanal. Por outro lado essas feições parecem ocorrer também internamente à Bacia do Pantanal, não apenas evidenciadas por sua possível associação com os limites da Baixa Nhecolândia como na aparente captura de diversos rios, como o Piquiri e Aquidauana, que apresentam trechos retilíneos.

As evidências de estar a Baixa Nhecolândia alçada em 3 a 5 metros em relação à vizinhança compõem um dado importante na discussão genética daquele ambiente, reforçando a proposta de origem das lagoas a partir de antigos rios, já que estas estão, ao menos em sua maior parte, dispostas em rosário. Este processo poderia se dever a um simples rebaixamento do nível de base, mas isto não explicaria o fato das lagoas se restringirem à Baixa Nhecolândia. A hipótese de um soerguimento de origem tectônica é bastante plausível e explicaria a presença das lagoas apenas no bloco soerguido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Forpus e ao Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (PEPRN) pela viabilização dos trabalhos de campo relacionados à pesquisa. Deborah Mendes agradece à CAPES pela bolsa de mestrado e Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida agradece à Fapesp (processo número 06/61052-4) por financiar pesquisas na Baixa Nhecolândia, as quais auxiliaram na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, T. I. R. ; Fernandes, E. ; Mendes, D. ; Branco, F. C. ; Sigolo, J.B. . 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. *Geologia USP. Série Científica*, v. 7, p. 95-107, 2007.
- Assine M. L. & Soares, P. C. 2004. Quaternary of the Pantanal, West-Central Brazil. *Quaternary International*. **114**:23-34.
- Assine M. L. 2003. Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro Oeste, Brasil. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro. 105 pp.
- Assine M. L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*. **70**:357-378.
- Assumpção M. 1998a. Focal mechanisms of small earthquakes in the Southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. *Geophysical Journal International*. **133**:490-498.
- Assumpção M. 1998b. Sismotectónica y esfuerzos en Brasil. *Física de la Tierra*. **10**:149-166.
- Assumpção M., Schimmel M., Escalante C., Barbosa J. R., Rocha M., Barros L. V. 2004. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical Journal International*. **159**:390-399.
- Boggiani, P. C. 1998. Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 181 pp.
- Cunha J. 1943. Cobre do Jaurú e lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). Boletim do Laboratório da Produção Mineral, Rio de Janeiro **6**:1-43.
- Facincani E. M., Assine M. L., Silva A., Zani H., Araújo B. C., Miranda G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS. In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, MS, 11-15 de novembro de 2006, p. 175-181.
- Farr T. G., Rosen P. A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. 2007. The Shuttle Radar Topographic Mission. *Reviews of*

Geophysics. **45**:

- Farr, T. G. & Kobrick, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Transactions, American Geophysical Union*. **81/82**:583-585.
- Fernandes E. 2000. Caracterização dos Elementos do Meio Físico e da Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense). Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.
- Fernandes E. 2007. Organização espacial dos componentes da paisagem da Baixa Nhecolândia - Pantanal de Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Depto. de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 177 pp.
- Fernandes E., Sakamoto A. Y., Queiroz Neto, J. P., Lucati, H. M., Cappelari, B. 1997. Le Pantanal da Nhecolândia cadre physique et Dynamique hydrologique. *Suplemento di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*. **22**:13-21.
- Fisseha S. 2003. *Estruturas geotectônicas crustais do Pantanal e Faixa Paraguai: implicações tectônicas*. Tese de doutorado, IAG-USP, 189 pp.
- Gesick A. L. D. & Riccomini C. 1998. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In: Anais XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, MG, p. 84-84.
- Godói H. O., Martins E. G. Mello J. C. R., Scislewski G. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Corumbá – Folha SE.21-Y-D, Aldeia Tomázia, Folha SF.21-V-B, Porto Murtinho, Folha SF.21-V-D, Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:250.000. Ed. CPRM. 1CD-ROM.
- Hales F. W. 1981. Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa Araguaia e Pantanal: suas implicações geológicas. *Mineração e Metalurgia*. **44**:24-30.
- Hamza V. M. & Muñoz M. 1996. Heat flow map of South America. *Geothermics*. **25**:599-646.
- Horton B. K. & DeCelles P. G. 1997. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. *Geology*. **25**:895-898.
- Kellndorfer J., Walker W., Pierce L., Dobson C., Fites J. A., Hunsaker C., Vona J., Clutter M. 2004. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*. **93**:339-358.
- Latrubesse E. M., Stevaux J. C., Santos M. L., Assine, M. L. 2005. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleoidrologia. In: Souza C. R. G., Suguio K., Oliveira A. M. S., Oliveira P. E. (eds.) *Quaternário do Brasil*. Holos Editora. São Paulo, pp. 276-297.
- Rabelo L. & Soares P. C. 1999. Lineamento Transbrasiliiano e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: Anais Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos - SNET, Lençóis, BA, p. 79-82.
- Rodríguez E., Morris C. S., Belz J. E., Chapin E. C., Martin J. M., Daffer W., Hensley S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639:1-143.
- Ruiz A. S. 2005. Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil-Bolívia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 260 pp.
- Schumm S. A., Dumont J. F., Holbrook J. M. 2000. *Active tectonics and alluvial rivers*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 276 pp.
- Shiraiwa S. & Ussami N. 2001. Gravity survey of the Pantanal Wetland: Data acquisition and processing. *Revista Brasileira de Geofísica*. **19**:315-324.
- Soares P. C., Assine M. L., Rabelo, L. 1998. The Pantanal Basin: Recent Tectonics, Relationships to the Transbrasiliiano Lineament. In: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 11-18 setembro 1998, p. 459-469.
- Ussami N., Shiraiwa S., Dominguez J. M. L. 1999. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*. **18**:25-39.
- Valeriano C. M. e Abdon M. M. 2006. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, 11-15 novembro, p. 395-404.
- Weyler G. 1962. Relatório final dos poços perfurados no Pantanal Matogrossense – Projeto Pantanal. Petrobrás, Ponta Grossa, Brasil, p. 27.

Zani H., Assine M. L., Araújo B. C., Merino E. R., Silva A., Facincani E. M. 2006. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. *In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, MS, 11-15 de novembro de 2006, p. 285-292.*

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Complementarmente aos resultados apresentados nos capítulos 2 e 3, apresenta-se aqui a sua síntese e discutem-se aspectos de sua integração.

Apesar de ser uma planície, a Baixa Nhecolândia apresenta relevo interno mais ondulado e topograficamente encontra-se mais elevada que as áreas da Vazante do Corixinho e do rio Negro, como discutido nos capítulos 2 e 3, com desníveis de aproximadamente dois a quatro metros coincidentes com limites bruscos e retilíneos dos campos de lagoas. Tais limites são associados respectivamente aos lineamentos Transbrasiliano e do Rio Negro, este último definido nesta pesquisa.

Este provável soerguimento do bloco em que se encontra a Nhecolândia em relação às planícies vizinhas, como mostram as evidências aqui apresentadas, é o principal resultado obtido, pois pode ser um aspecto fundamental na análise da origem dos milhares de lagoas que caracterizam a Nhecolândia, um tema ainda em discussão e que pode ser considerado pouco esclarecido. Pode-se, assim, apresentar uma hipótese alternativa para a origem do campo de lagoas.

A hipótese mais aceita na literatura (Klammer, 1982; Assine & Soares, 2004) indica que as lagoas se formaram pela elevação do lençol freático por ocasião do fim da glaciação do Pleistoceno, inundando as superfícies de deflação de um campo de dunas. Ainda que bem fundamentada, esta hipótese não explica, por exemplo, as formas comuns das lagoas, discordantes das de superfícies de deflação e, principalmente, a presença de séries de lagoas em rosário. Com um discreto soerguimento do bloco que contém a Nhecolândia e conseqüente rebaixamento do freático as drenagens perenes existentes passariam a drenar em sub-superfície, pelas areias inconsolidadas e altamente permeáveis da bacia, levando ao desaparecimento das porções mais rasas dos rios e córregos, isolando conjuntos de lagoas em rosário, ora mais ora menos passíveis de serem interconectados nos períodos de cheia com a elevação do freático. Com o soerguimento o nível de base local continuaria a coincidir com o do rio Negro, que corre em leito já fora da área soerguida. Assim, por esta hipótese a Baixa Nhecolândia estaria sofrendo degradação, como corroboram feições erosivas observadas em campo.

Ao Lineamento Transbrasiliano (LTB), de expressão continental, associa-se uma mudança na fisiografia da região: define o limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho, como já amplamente discutido na literatura. Recorda-se apenas aqui que, em sua extensão para SW, o

mesmo captura o rio Paraguai. Neste trabalho confirmou-se com os perfis ortogonais obtidos dos dados SRTM filtrados a já sugerida quebra topográfica da ordem de 4 metros associada a este lineamento quando limita a Baixa Nhecolândia (**Figuras 4.1 e 4.2**). A atividade tectônica deste lineamento é bem conhecida pela sismicidade associada não apenas na região do Pantanal como em sua continuidade para NE.

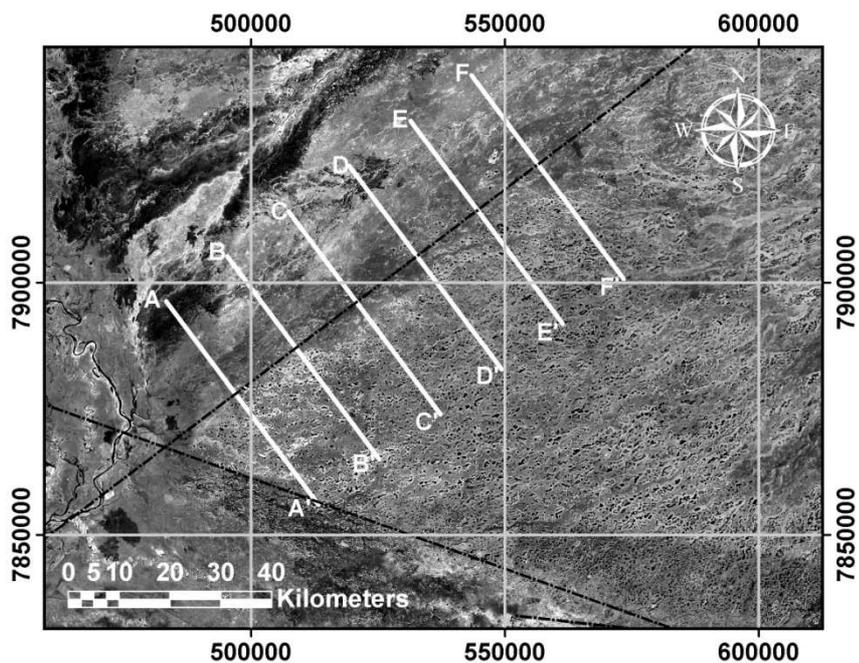


Figura 4.1 – Localização dos perfis altimétricos entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho desenhados sobre recorte de imagem ETM+4

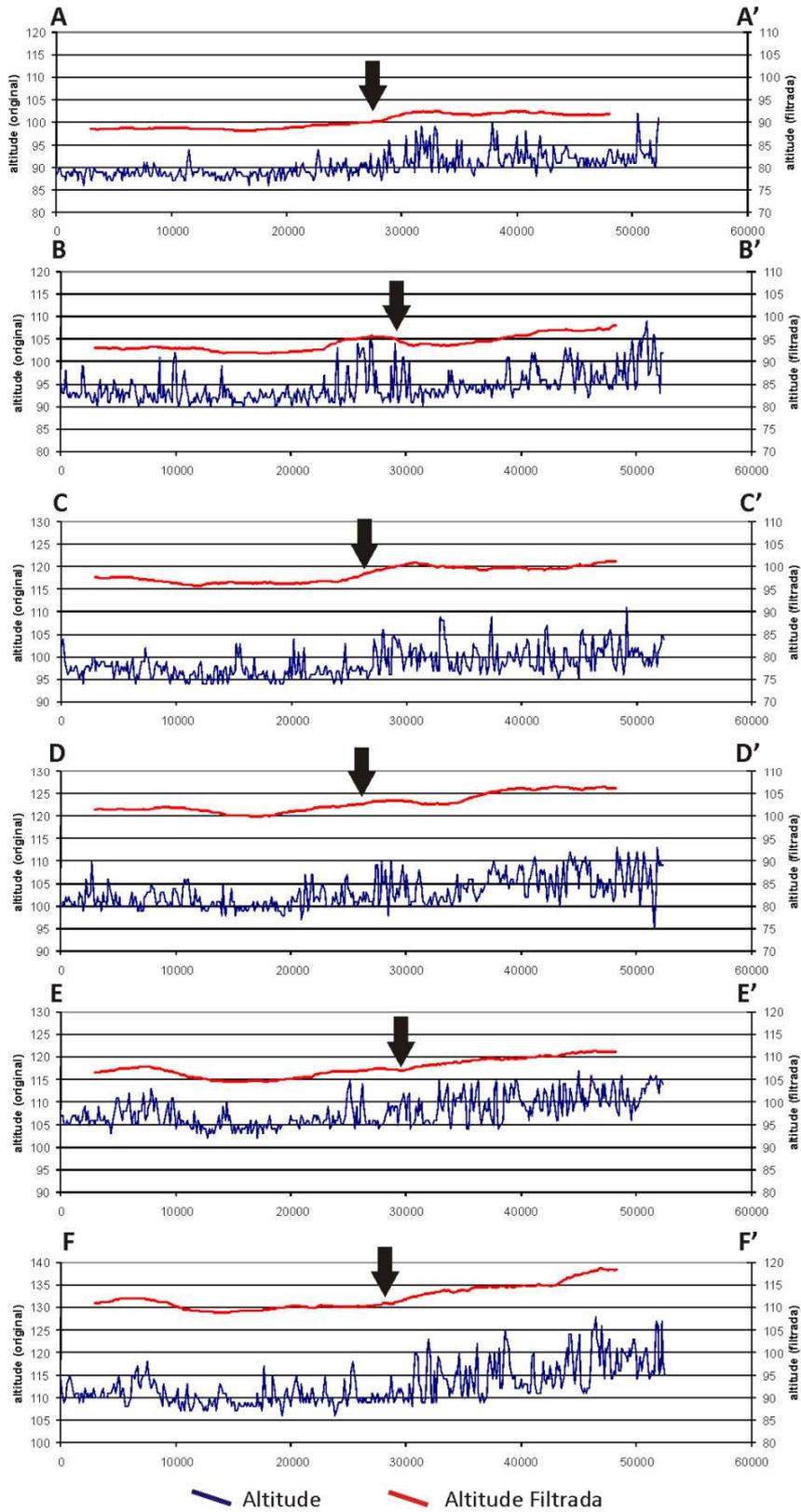


Figura 4.2 – Perfis altimétricos no limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho obtidos a partir de dados SRTM filtrados por filtros passa-baixas ponderados de 51 células, discutidos no capítulo 3. A quebra topográfica associa-se ao Lineamento Transbrasiliiano.

Com relação ao Lineamento do Rio Negro (LRN), os desníveis indicados pelos perfis altimétricos são aparentemente menos claros, como mostram as **Figuras 4.3** e **4.4** (também apresentadas no capítulo 3). Observe-se que o desnível relacionado ao Lineamento do Rio Negro no perfil D é da ordem de 5 metros, diminuindo para um torno de 3 metros no perfil C e para um metro no B, inexistindo no perfil A.

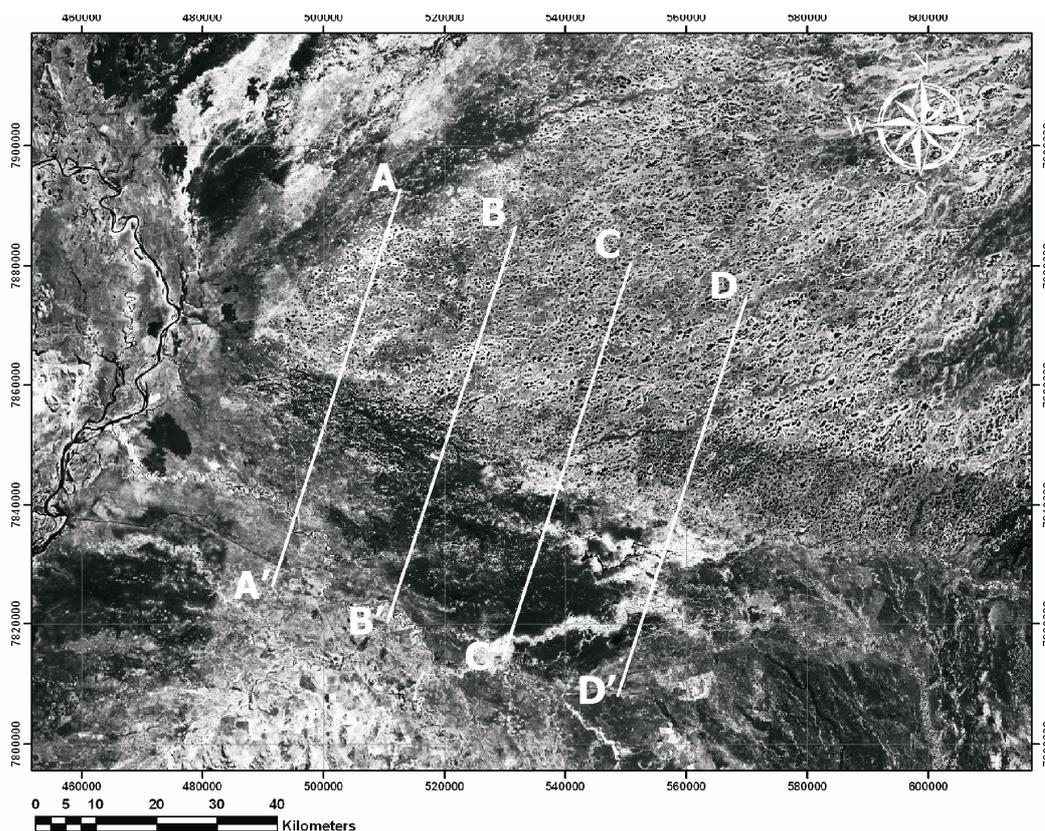


Figura 4.3 – Localização dos perfis altimétricos entre a Baixa Nhecolândia e o Pantanal do Rio Negro desenhados sobre recorte de imagem ETM+4.

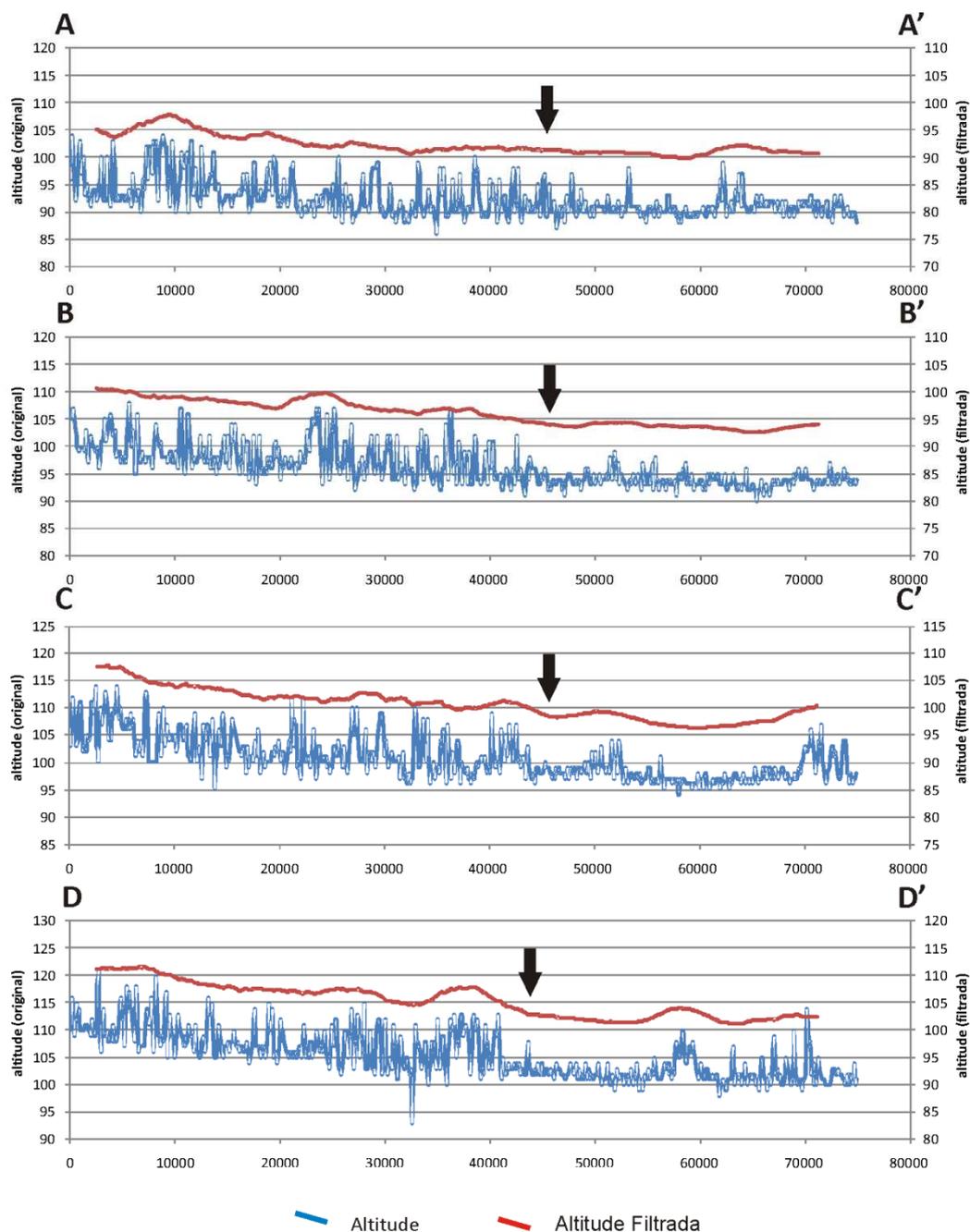


Figura 4.4 – Perfis altimétricos na região do limite entre a Baixa Nhecolândia e o Pantanal do Rio Negro obtidos a partir de dados SRTM filtrados por filtros passa-baixas ponderados de 51 células, discutidos no capítulo 3. A seta preta indica a quebra associada ao Lineamento do Rio Negro.

O amortecimento do desnível relacionado ao Lineamento do Rio Negro mostrado na **Figura 4.4** pode dever-se a processos erosivos/deposicionais posteriores ao soerguimento, com o assoreamento sendo responsável pelo padrão ramificado ao canal de drenagem. Caso o término do campo de lagoas fosse função de processos erosivos/deposicionais sem interferência de

tectonismo, não haveria justificativa para o desaparecimento das lagoas em linha bem marcada tanto na área em que há um desnível significativo como na que o assoreamento deixou o vale do rio Negro completamente indistinto. Assim o tectonismo que abateu o bloco do Pantanal do Rio Negro em relação ao da Baixa Nhecolândia parece ter levado a um assoreamento crescente em direção a WNW, formando o Pantanal do Rio Negro, área inundada pelo rio Negro sem qualquer drenagem definida.

O desnível topográfico observado nos perfis da **Figura 4.4** dá orientação geral ao rio Negro antes de se tornar ramificado, possivelmente por condicioná-lo. A extensão deste lineamento para WNW é aproximadamente coincidente a um trecho de quase 100 km do rio Paraguai, numa importante evidência de tectonismo recente, com captura de rio de grande porte (**Figura 4.5**). Acrescente-se ser tal lineamento também coincidente com a extensão do Lineamento Tucavaca para WNW. E realmente, após a inflexão do rio Negro para WNW, ao passar a acompanhar a continuidade do Lineamento Tucavaca, é difícil não associar o abrupto fim da Baixa Nhecolândia e a quebra de relevo com aquele lineamento, presente até as proximidades da fronteira Brasil-Bolívia.



Figura 4.5 – Lineamento Transbrasiliense e Lineamento do Rio Negro. Observar o rio Paraguai sendo aparentemente capturado pela extensão destes dois lineamentos (modificado de Assine, 2004).

Na **Figura 4.6** apresenta-se fotografia tomada na margem direita do rio Negro, nas proximidades da Fazenda Rio Negro, mostrando ser esta margem, coincidente com o término da Baixa Nhecolândia, nitidamente mais elevada que a margem esquerda, já associada ao Pantanal do Rio Negro. Este padrão foi observado em outros pontos do rio Negro naquela região, o que foi interpretado como evidência suplementar de estar a margem direita – e a Baixa Nhecolândia – alçada em relação à margem esquerda.



Figura 4.6– Barranca existente no rio Negro, na altura da Fazenda Rio Negro, localizada logo após a deflexão do rio, onde este assume padrão meandrante. Notar na margem direita uma barranca bem desenvolvida, de aproximadamente 1,5 metros, inexistente na margem esquerda.

A existência de grande concentração de lagoas neste ponto pode ser explicada também pelo soerguimento e conseqüente degradação que a Nhecolândia vem sofrendo, formando o dique na margem do rio Negro. No ponto onde o rio sofre deflexão existe uma barreira topográfica: ao tomar o rumo WNW o rio torna-se meandrante, indicando que neste ponto o rio é erosivo. Neste local ocorrem as maiores concentrações de lagoas salinas. As mudanças entre os padrões meandrante e ramificado ocorrem de forma relativamente abrupta no limiar dos rios e estes padrões mudam em locais onde há valores críticos de poder do rio, gradiente e carga de sedimentos (Schumm *et al.*, 2000). De fato, o rio Negro passa para padrão ramificado, onde, no interior da Baixa Nhecolândia, aumenta a concentração de lagoas hipossalinas (**Figura 4.7**). Isso pode ser explicado pela existência de uma possível estrutura cortando o rio fazendo com que ele passe a sofrer agradação, ou simplesmente por um processo de assoreamento do canal do rio em função dos processos erosivos atuantes no local em função do soerguimento da Baixa Nhecolândia.

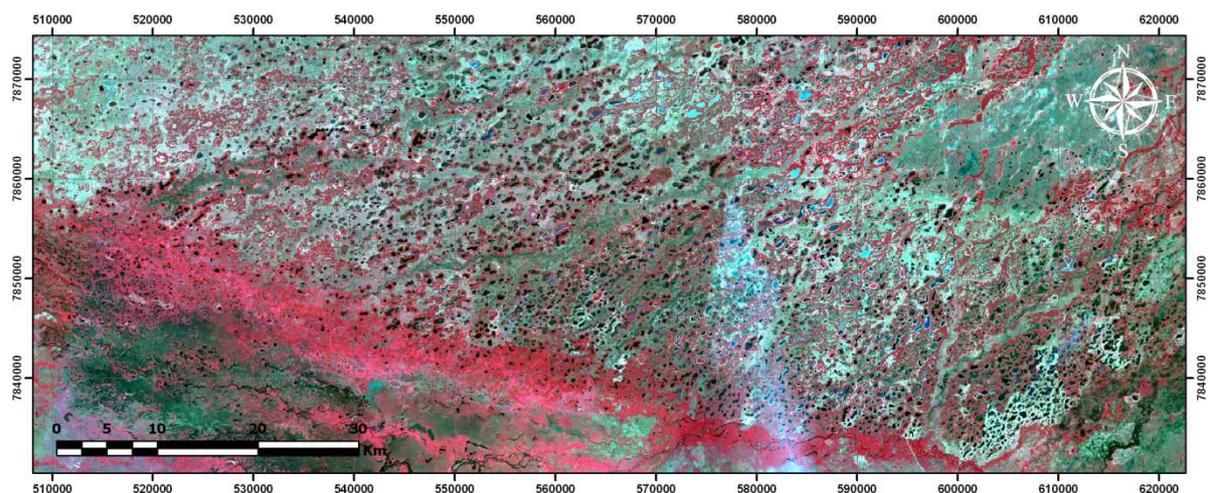


Figura 4.7 – Segmento de mosaico de imagens ASTER mostrando o rio Negro e a concentração de lagoas a norte. As lagoas azuladas e vermelhas mais arredondadas são salinas e estas se concentram a leste da imagem onde o rio assume padrão meandrante. Onde o rio torna-se ramificado, aumenta o número de lagoas hipossalinas.

Assim sendo, pode-se atribuir a distribuição desigual das lagoas dentro da Baixa Nhecolândia a estes eventos de degradação/agradação associados aos processos de tectônica dos blocos, ou seja, nos locais onde predominam lagoas salinas os blocos encontrar-se-iam mais altos que nos locais onde as predominam lagoas hipossalinas. As lagoas salinas estão quase ausentes em toda a porção NW da Baixa Nhecolândia, onde o gradiente é mais suave não formando diques/barrancas, e o terreno é mais baixo. No extremo Oeste da Nhecolândia, na região das fazendas Firme e Santo Inácio, onde há notável concentração de lagoas salinas têm-se terrenos mais elevados, possivelmente relacionados a alguma barreira que pode ser estrutural, já que o rio Taquari sofre deflexão próximo a este ponto, indo encontrar o rio Paraguai mais a sul). Esta barreira pode estar relacionada à confluência entre os rios Taquari e Paraguai, mas também à planície do rio Negro, justamente onde ocorre o encontro entre os lineamentos principais existentes na região.

Observe-se, por fim, que as lagoas salinas estão sistematicamente mais rebaixadas que as lagoas hipossalinas vizinhas, como descrito em Sakamoto (1996) e confirmado em campo. Esta relação espacial local não tem relação com a relação espacial regional acima citada e deve-se a aspectos não estudados nesta pesquisa. O tema está sendo abordado em pesquisas em curso (Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, informação verbal dada em dezembro de 2007).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A pesquisa exigiu desenvolvimento de filtros para homogeneizar ruídos de alta frequência inerentes aos dados SRTM, permitindo seu uso naquela região de extremamente baixo gradiente topográfico. Em outra abordagem foram utilizados filtros passa-baixas da literatura, desenvolvidos para o realce de feições de baixa frequência. Seu uso foi antevisto como possibilidade de realçar eventuais concentrações de lagoas salinas e hipossalinas. Em ambos os casos os resultados obtidos foram positivos.

Anteriormente não havia dados topográficos disponíveis regionalmente que permitissem analisar desníveis potencialmente associados a feições tectônicas de porte, como é o caso do LTB, que na região atua como limite NW da Baixa Nhecolândia. Assim um dado pontual de grande relevância e presente na literatura é o desnível de quatro metros associado àquele lineamento na região. Com os dados SRTM filtrados pôde-se regionalizar aquele desnível e dar mais segurança à interpretação que o associa a movimento de blocos que, por sua vez, foi interpretado como essencial para a compreensão da gênese recente da Baixa Nhecolândia. Estes dados permitiram, ainda, propor com mais segurança o soerguimento da Baixa Nhecolândia em relação ao Pantanal do Rio Negro, em associação com o lineamento homônimo, permitindo a interpretação de um soerguimento da Baixa Nhecolândia como um todo em relação às planícies vizinhas. Estas duas conclusões abrem a possibilidade de se montar uma hipótese alternativa para a origem do campo de lagoas. Há, entretanto, necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema, para cotejar esta hipótese e a já presente na literatura, já que a que aqui se apresenta é feita de modo preliminar e sobre dados espaciais sem controle de campo, e que, todavia esclarece, sobretudo, as séries de lagoas em rosário, não explicadas, por sua vez, pela hipótese da literatura.

No tocante às filtragens passa-baixas sobre mapas temáticos, os resultados obtidos permitiram observar distribuição não aleatória das lagoas salinas e hipossalinas bem como dar segurança na interpretação e delimitação de concentrações de lagoas de um e outro tipo. Estes dados ainda carecem de estudos complementares para sua compreensão, mas já permitem identificar, ainda que localmente, a clara associação de predomínio de lagoas salinas com regiões mais elevadas que nas vizinhanças da própria Baixa Nhecolândia. Ao se cruzar esta conclusão com a que indica estar a Baixa Nhecolândia alçada em relação às planícies vizinhas torna-se difícil não correlacionar a presença de lagoas salinas com o alçamento de blocos: regionalmente ocorrem apenas em um bloco soerguido e, no interior deste bloco, ocorrem predominantemente em locais

mais elevados que nas vizinhanças.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMENDINGER, R. W.; JORDAN, T. E.; KAY, S. M.; ISACKS, B. L. The evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Reviews Earth Planetary Sciences*, v. 25, p. 139-174, 1997.

ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do sudoeste matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*, n. 116, p. 1-118, 1945.

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

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F. C.; SIGOLO, J. B. 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. *Geologia USP: Série Científica*, v. 7, p. 95-107, 2007.

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, 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 PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 155-164.

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.

ASSINE M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*, v. 70, p. 357-378, 2005.

ASSINE M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, West-Central Brazil. *Quaternary International*, v. 114, p. 23-34, 2004.

ASSINE, M. L. *Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro-Oeste Brasil*. 2003 104 f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

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

ASSUMPÇÃO, M. S DE. The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, n. B8, p. 11889-11903, 1992.

ASSUMPÇÃO, M. S. DE; HEINTZ, M.; VAUCHEZ, A.; EGYDIO SILVA, M.; BARBOSA, J.R. 2006, Upper mantle anisotropy in SE and Central Brazil from SKS splitting: Evidence of asthenospheric flow around a cratonic keel. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 250, p. 224-240, 2006.

ASSUMPÇÃO, M. S. DE; SCHIMMEL, M.; ESCALANTE, C.; BARBOSA, J. R.; ROCHA, M.; BARROS, L. V. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical Journal International*, v. 159, p. 390-399, 2004.

BOGGIANI, P. C. *Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul*. 1998 181 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 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.

CUNHA J. 1943. Cobre do Jaurú e lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). *Boletim do Laboratório da Produção Mineral*, n. 6, p. 1-43, 1943.

FACINCANI, E. M.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; ZANI, H.; ARAÚJO, B. C.; MIRANDA, G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 175-181.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Transactions, American Geophysical Union*, v. 81/82, p. 583-585, 2000.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topographic Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, 2007.

FENG, M.; ASSUMPÇÃO, M. S.; AND LEE, S. V. DER. Group-velocity tomography and lithospheric S-velocity structure of the South American continent. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 147, p. 315–331, 2004.

FERNANDES E. *Caracterização dos Elementos do Meio Físico e da Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)*. 2000 130 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES E. *Organização espacial dos componentes da paisagem da Baixa Nhecolândia - Pantanal de Mato Grosso do Sul*. 2007 177 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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, 60, 2005, Zaragoza. *Abstract volume*. Zaragoza, 2005. p. 123.

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. *Geographie Fisique et Dynamique du Quaternaire Supplemen*, v. 22, p. 13-21, 1999.

FISSEHA S. 2003. *Estruturas geolétricas crustais do Pantanal e Faixa Paraguai: implicações tectônicas*. 2003 189 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GESICK A. L. D.; RICCOMINI C. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1998. p. 84.

GODÓI, H. O.; MARTINS, E. G.; MELLO, J. C. R.; SCISLEWSKI, G. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Corumbá – Folha SE.21-Y-D, Aldeia Tomázia – Folha SF.21-V-B, Porto Murtinho – Folha SF.21-V-D, Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:250.000. São Paulo: CPRM, 2001, 1 CD-ROM.

HALES, F. W. Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa Araguaia e Pantanal: suas implicações geológicas. *Mineração e Metalurgia*, v. 44, p. 24-30, 1981.

HAMZA, V. M.; MUÑOZ, M. Heat flow map of South America. *Geothermics*, v. 25, p. 599-646, 1996.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S.A. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics*, v. 305, p. 287-306, 1999.

HORTON, B. K.; DECELLES, P. G. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. *Geology*, v. 25, p. 895–898, 1997.

KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, JO 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. *Zentralblatt Für Geomorphologie*, v. 26, n. 4, p. 393- 416, 1982.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; ASSINE, M. L. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleoidrologia. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. [coord.]. *Quaternário do Brasil*. São Paulo: Holos Editora, 2005. p. 276-297.

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: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 60,

2005, Zaragoza. *Abstracts volume*, Zaragoza, 2005. p. 390.

MITROVICA, J. X.; BEAUMONT, C.; JARVIS, G. T. Tilting of continental interiors by the dynamical effects of subduction. *Tectonics*, v. 5, p. 1078-1094, 1989.

MOURÃO, G. *Limnologia comparativa de três lagoas (duas “bacias” 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*, v. 37, p. 1-99, 1939.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; BOTELHO, N. F. Granites and the geodynamic history of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil: a review. *Lithos*, v. 46, p. 463-483, 1999.

RABELO L.; SOARES P. C. Lineamento transbrasiliano e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7, 1999, Lençóis. *Anais...* Lençóis, 1999. p. 79-82.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ACHIM, R.; BAMLER, R. The shuttle radar topographic mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 57, p. 241-262, 2003.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in Central-Southeastern Brazilian Platform. In: COMIN-CHIARAMONT, P.; GOMES, C.B. [coord.] *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian platform*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2005, p. 31-55.

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. *Technical Report JPL*. 2005, D-31639, pp. 1-143.

RUIZ, A. S. *Evolução geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico região limítrofe Brasil-Bolívia*. 2005 260 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2005.

SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P.; FERNANDES, E.; LUCATI, H. M.; CAPELLARI, B. 1996. Topografia de lagoas salinas e seus entornos no Pantanal de Nhecolândia. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2, 1996, Corumbá. *Anais...* Corumbá, 1996. p. 127–135.

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 (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. 2006. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n. 1, p. 101-107, 2006.

SCHUMM S. A.; DUMONT J. F.; HOLBROOK J. M. *Active tectonics and alluvial rivers.* Cambridge University Press, 2000. 276 p.

SHIRAIWA S.; USSAMI N. Gravity survey of the Pantanal Wetland: Data acquisition and processing. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19, p. 315-324, 2001.

SHIRAIWA, S. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da bacia do Pantanal.* 1994 314 f. Tese (Doutorado) – 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, n. especial, p. 1703-1711, 1998.

SOARES, A.P.; SOARES, P.C.; ASSINE, L. Areais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 211-224, 2003.

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

SOUSA, F. J. Revisão da geologia da porção SW do Estado de Mato Grosso, S do Estado de Rondônia e do Leste da Bolívia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 1, p. 74-81, 1991.

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.

VALERIANO C. M.; ABDON M. M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 395-404.

WEYLER, G. 1962. *Relatório final dos poços perfurados no Pantanal Matogrossense – Projeto Pantanal*. Ponta Grossa: Petrobrás, 1962. 27 p.

ZANI H.; ASSINE M. L.; ARAÚJO B. C.; MERINO E. R.; SILVA A.; FACINCANI E. M. 2006. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 285-292.