

ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS E PROCESSOS EROSIVOS NAS MARGENS DO RIO PARAGUAI, PANTANAL SUPERIOR, MATO GROSSO, BRASIL

Morphological, physical and chemical attributes of soils and erosive processes of the Paraguay River margins in Cáceres on Taiamã island, Mato Grosso, Brazil

Juberto Babilônia de Sousa*
Maria Aparecida Pereira Pierangeli**
Milson Evaldo Serafim*
Célia Alves de Souza***

***Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso – IFMT**
Campus de Cáceres

Rua dos Soterros, Q 29, C12 – Jardim Celeste I – Cáceres, Mato Grosso, Brasil – CEP 78.200.00
jubertobabilonia@yahoo.com.br
lapegeofunemat@hotmail.com

****Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Pontes e Lacerda – UNEMAT**
Departamento de Zootecnia e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Rod. BR. 174, km 209, Cx. postal 181 – Zona rural – Pontes e Lacerda, Mato Grosso, Brasil – CEP 78250-000
mappierangeli@gmail.com

*****Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Cáceres – UNEMAT**
Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Rua dos Soterros, Q 29, C12 – Jardim Celeste I – Cáceres, Mato Grosso, Brasil – CEP 78.200.00
celiaalvesgeo@globo.com

RESUMO

O objetivo do estudo é discutir a contribuição das características morfológicas e atributos físico-químicos dos solos nos processos erosivos das margens do rio Paraguai. A área de estudo está localizada no Pantanal mato-grossense, em um trecho do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Ilha Taiamã, num percurso aproximado de 200 km. Foram escolhidos quatro pontos para a descrição morfológica e coleta de amostras deformadas de cada horizonte e/ou camada dos solos para a caracterização física e química. Na análise física, de todos os horizontes e/ou camadas, foram determinadas a textura. As análises químicas de rotina de fertilidade dos solos foram realizadas em todas as amostras coletadas, constando: o pH em H₂O e em KCl 1 mol L⁻¹; teores de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e H + Al. Verificou-se a ocorrência dos seguintes tipos de solos: Plintossolo Argilúvico Eutrófico, Plintossolo Pétrico Litoplúvico típico, Neossolo Flúvico Psamítico típico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Diferenças na morfologia dos solos conferem graus, também, distintos, de processos erosivos. A fertilidade dos perfis estudados, de média a alta, permite a manutenção de vegetação natural, tanto de arbustos quanto de árvores de grande porte, exceto no Neossolo Flúvico, amenizando os processos erosivos. Por outro lado, os elevados teores de areia observados em alguns perfis tendem a favorecer o processo erosivo das margens enquanto a presença de plintita parece favorecer o solapamento basal dos perfis e resultam no desprendimento de grandes blocos das margens do rio.

Palavras-Chave: Morfologia do solo. Atributos físico-químicos. Erosão das margens.

ABSTRACT

The aim of the study is to discuss the contribution of the morphological characteristics and physic-chemical attributes of the soils in the erosive process of the Paraguay River margins. The study area is located in the Pantanal of Mato Grosso,

in a stretch of the Paraguay River corridor between Cáceres and Taiaimã Island, in a distance of approximately 200 km. Four points were chosen to the morphological description and collection of deformed samples from each horizon and/or layer for physical and chemical characterization. On the physical analyze, from all the horizon and/or layers, were determined the texture. The chemical analysis of routine of the soil fertility was performed on all collected samples: pH in H₂O and KCl 1 mol L⁻¹; content of P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, and H + Al. Results showed the occurrence of the following types of soils: Argiluvic Plinthosol Eutrophic, Plinthosol Petric Lithoplintic, Neosol Fluvic Psamment and Typic Quartzipsamment. The fertility of the soil profile, were medium to high, allows the maintenance of natural vegetation, as well as shrubs and large trees, except in Entisol, mitigating the erosive processes. On the other hand, the high sand content observed in some profiles tend to favor the erosion of margins while the presence of plinthite favors the basal washout profiles and result in detachment of large blocks of the river banks.

Keywords: Soil morphology. Physical and chemical attributes. Bank erosion.

1 INTRODUÇÃO

A erosão fluvial é a erosão causada pelas águas dos rios que provoca desgaste nas margens e removem porções do solo para o seu leito, provocando o desmoronamento de barrancos com consequente assoreamento do leito, podendo, em alguns casos, alterar o próprio curso do rio (CHRISTOFOLETTI, 1981).

De acordo com Christofolletti (1981), as formas do canal e das margens refletem o ajustamento aos débitos, considerando que a forma do canal resulta da ação do fluxo sobre os materiais componentes, no leito e nas margens. O pesquisador afirma que as dimensões do canal são controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais, depositando material no leito e nas margens.

Os estudos dos processos de erosão marginal têm suma importância no entendimento da dinâmica dos canais fluviais, ao longo do tempo e do espaço. Para Souza (2004), Souza e Cunha (2007) os processos de erosão nas margens estão entre os elementos mais dinâmicos da paisagem e o entendimento dos mecanismos de atuação é fundamental para explicação da evolução dos diversos elementos da geomorfologia fluvial, que por sua vez é determinante na evolução dos ecossistemas de canais fluviais e das planícies de inundação.

De acordo com Thorne e Tovey (1981), erosão marginal é um processo geomórfico de grande importância prática e científica, pois seu estudo permite entender a dinâmica temporal e espacial dos rios e da paisagem prática. Em termos práticos a erosão de margem controla a largura do canal, contribui significativamente no incremento da carga de fundo dos rios e desvaloriza os terrenos ribeirinhos e limita o seu uso adequado.

O rio Paraguai constitui um dos rios mais importantes do Brasil, com seus afluentes percorrendo vasta área de planície, podendo ser considerado uma imensa bacia de recepção de águas e sedimentos, devido à sua forma de anfiteatro. O rio principal e seus afluentes percorrem grandes extensões em planícies e pantanais mato-grossenses, contribuindo para a manutenção das características locais do Pantanal (SOUZA, 2004).

O rio Paraguai vem tendo seu uso intensificado motivado por atividades econômicas: a pecuária, a mais antiga delas, o turismo e a hidrovia para o transporte de cargas. Todas com algum grau de impacto em suas margens e por consequência na dinâmica do rio. O agravante é que tais usos são feitos sem um conhecimento adequado do sistema fluvial, e sem planejamento que possa minimizar seus efeitos sobre o rio, tais como a retirada da mata ciliar, despejo de efluentes domésticos, modificação do padrão de carga e descarga dos sedimentos, substituição da vegetação nativa por pastagens e erosão marginal (JUNK; CUNHA, 2005; SILVA et al., 2008).

Os agentes que controlam a erosão nas margens de rios são decorrentes das diversas condições pedológicas, hidrológicas e climáticas da área (FERNANDEZ, 1995). Características do solo, tais como textura, consistência, estrutura e fertilidade são importantes condicionantes dos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Estudos de solos de barrancos do rio

Paraguai realizados por Santos et al. (2013) evidenciam a importância de conhecer as características e propriedades pedológicas, pois as mesmas podem favorecer ou não o processo de erosão de margens, bem como as mudanças dos canais fluviais. Nesse sentido, a descrição morfológica desses solos, complementada com seus atributos físicos e químicos, é uma ferramenta importante no prognóstico de processos erosivos marginal, contribuindo com o entendimento da dinâmica natural dos rios.

Portanto, o objetivo do estudo foi discutir as características morfológicas e atributos físico-químicos de solos de barrancos do rio Paraguai e discutir a contribuição dos mesmos nos processos erosivos marginal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no pantanal mato-grossense, em um trecho do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Ilha Taiamã, num percurso aproximado de 200 km, com altitude média de 106 metros.

Para a escolha dos locais para descrição dos perfis do solo do barranco das margens do rio selecionou-se os trechos com padrão meandrante que apresentam erosão acelerada e deposição de sedimentos na calha e planície de inundação, e trechos com padrão retilíneo, conforme estudos conduzidos por Souza e Cunha (2007).

Desta forma, o presente estudo foi desenvolvido em quatro pontos ao longo do perfil longitudinal, nas margens do Rio Paraguai, sendo: a) segmento Barranco do Touro entre as coordenadas 16°10'35" de latitude sul e 57°47'22" de longitude oeste; b) segmento Marco do Jauru nas coordenadas 16°23'22" de latitude sul e 57°46'49" de longitude oeste; c) segmento Morro Pelado nas coordenadas 16°26'50" de latitude sul e 57°46'45" de longitude oeste; e d) segmento do Barranco Vermelho nas coordenadas 16°28'53" de latitude sul e 57°48'20" de longitude oeste (Figura 1).

O corredor fluvial do rio Paraguai está associado aos eventos de abatimentos estruturais, provavelmente reflexo da orogênese dos Andes (SOUZA, C.; SOUZA, J.; CABRAL et al., 2012). O segmento estudado é composto por uma variação de tipos de sedimentos da Formação Pantanal e arenitos da Formação Raizama.

Nos trabalhos realizados por Figueiredo e Olivatti (1974) e Luz et al. (1978), são classificados três níveis para a Formação Pantanal. O primeiro, topograficamente mais elevado, seria constituído por areias inconsolidadas, de granulometria fina a média, intercalada por materiais siltico-argilosos. O segundo nível seria formador dos terraços aluviais sub-recentes, constituídos por siltes, argilas e areias finas. O último nível, constituído por uma planície mais rebaixada, teria como formadores os depósitos irregulares siltico-argilosos e grosseiros, depositados recentemente pelo rio Paraguai.

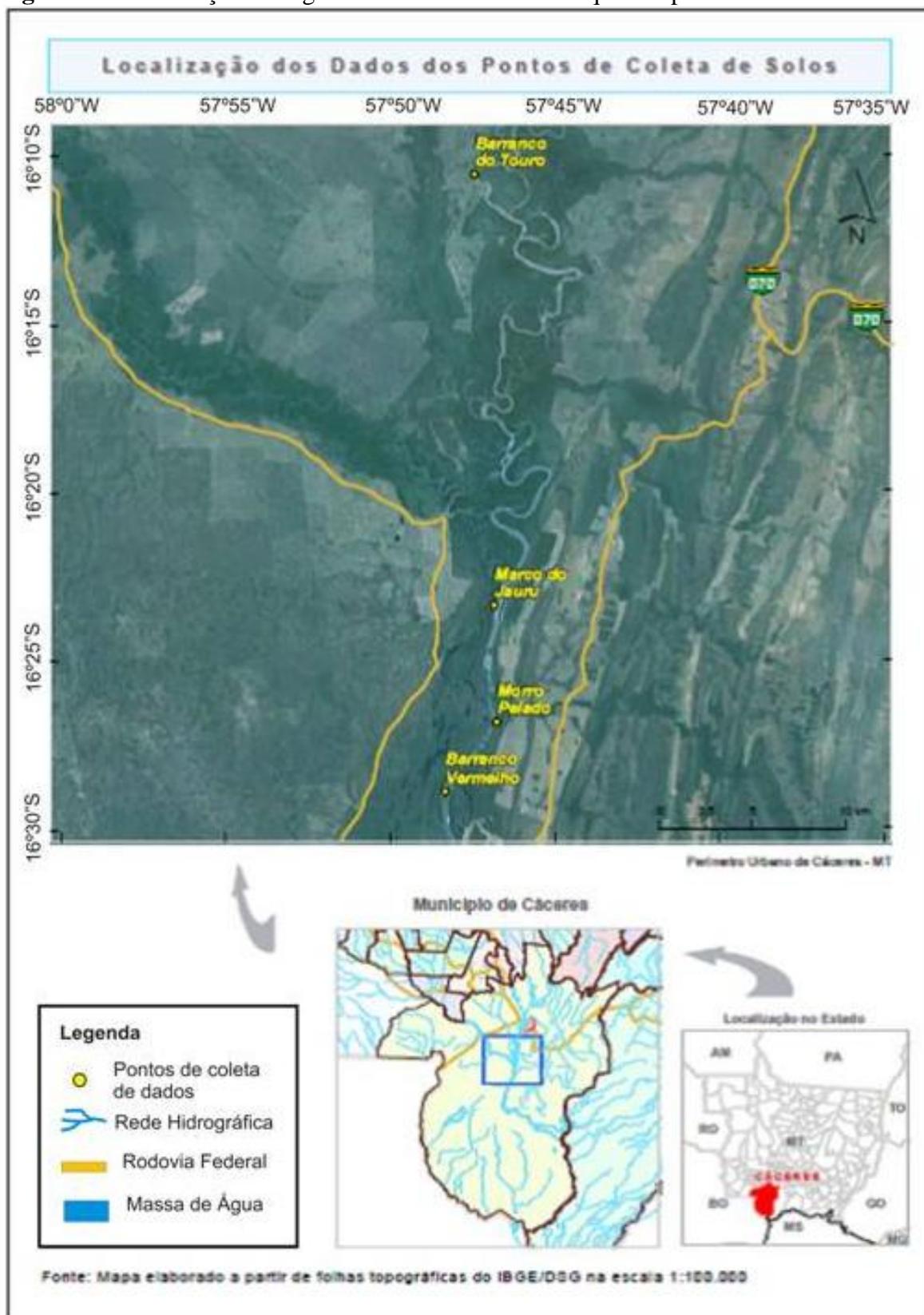
Litologicamente a Formação Raizama apresenta em sua base frequentes intercalações de camadas de arenitos grosseiros e conglomerados com matriz arenosa fina, média e grossa. É constituído por cores claras, com tonalidades esbranquiçadas, bege, cinza-claro, rósea e mais raramente arroxeadas, camadas conglomeráticas com seixos de quartzo atingindo até 3 cm (BARROS et al., 1982).

A compartimentação geomorfológica corresponde às planícies e pantanais mato-grossenses, composta de planície fluvial e feições peculiares da dinâmica natural do rio, que compõem as feições positivas (área de recepção de sedimentos) e negativas (área de remoção de sedimentos).

Neste trecho, destacam-se, como feições morfológicas, os diques marginais e os cordões arenosos originados da deposição de sedimentos grosseiros (areias), nas laterais do leito. São

formados principalmente no período de estiagem, quando o rio diminui sua vazão e a capacidade para transportar sedimentos. Observa-se a presença de baías, lagoas e canais secundários.

Figura 1 – Localização do segmento estudado com destaque aos pontos de coleta de solos.



Fonte: Elaborado a partir de folhas topográficas do IBGE/DSG na escala 1:100.000.

C. A.; SOUZA, J. B.; CABRAL

Souza, C.; Souza, J., e Cabral (2012) mencionam que 99 % da área em estudo é composta por sedimentos da Formação Pantanal. Devido aos pulsos de inundação a que o Pantanal está sujeito, na região predominam solos hidromórficos, cuja pedogênese é influenciada por reações de oxi-redução, culminando nos processos de gleização e plintização. Dessa forma, as principais classes de solo que ocorrem no Pantanal são Geissolo háplico Tb eutrófico, Plintossolo distróficos, Planossolo, Neossolo Flúvico, Vertissolo, Luvisso e Cambissolo Flúvico (COUTO; OLIVEIRA, 2010; SOUSA, J.; SOUZA, C., 2013).

De acordo com Brasil (2014) as principais feições fitossociológicas do Pantanal matogrossense são a Savana arborizada, Savana florestada, Savana gramíneo-lenhosa, Pastagem e Floresta Estacional semidecidual Aluvial com predomínio da última.

A Floresta semidecidual Aluvial foi observada ao longo do rio Paraguai, nas ilhas, em áreas inundáveis ou sujeitas à inundação. Esta formação florestal ribeirinha é diversificada, sendo que suas principais características variam de acordo com sua localização na formação aluvial. São vegetações de pequeno porte, adaptáveis ao encharcamento do solo durante o período das cheias.

O Rio Paraguai drena uma bacia hidrográfica de aproximadamente 496.000 km². Cerca de 396.800 km² localiza-se no Brasil e o restante na Bolívia e Paraguai (BARROS et al., 1982). No Brasil, 207.249 km² estão no Estado de Mato Grosso do Sul e 189.550 km² em Mato Grosso. Do total da área da bacia, no Brasil, 64% da área corresponde ao planalto circundante e o restante (34%) à planície de inundação, conhecida como Pantanal matogrossense (SOUZA, 2004). Ainda segundo essa autora, as principais nascentes do rio Paraguai se localizam nas bordas do Planalto dos Parecis. No trecho estudado, os principais tributários do rio Paraguai são os rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, todos desaguardando na sua margem direita. O padrão do rio Paraguai apresenta-se ora retilíneo, ora meandrante, havendo intenso processo erosivo na margem côncava e deposição na margem convexa e na planície de inundação.

2.2 Caracterização morfológica, química e textura dos solos

A descrição morfológica dos perfis de solo foi realizada de acordo com Lemos e Santos (1996), sendo coletadas amostras deformadas de cada horizonte e/ou camada dos solos para a caracterização física e química. Na análise física, de todos os horizontes e/ou camadas, foram determinadas a textura. Análises químicas de rotina de fertilidade dos solos foram realizadas em todas as amostras coletadas: pH em H₂O; teores de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e H + Al (EMBRAPA, 1997). A classificação dos solos seguiu as normas preconizadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Como a descrição foi realizada apenas em perfis do barranco do rio, procurou-se identificar os solos vizinhos associados a cada perfil. Segundo o IBGE (2007) associações e complexos consistem de combinações de duas ou mais classes de solos distintos, ocorrendo em padrões regularmente repetidos na paisagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características dos atributos físicos do solo e erosão das margens

Os quatro perfis analisadas ao longo da seção longitudinal do rio Paraguai possuem características geoambientais peculiares e, que, isoladas ou combinadas desempenham papel importante na análise dos processos erosivos nas margens, destacam-se: a) as diversidades de classes de solos inseridas nas diferentes paisagens ao longo do trecho analisado, incluindo perfis em paisagens com cota altimétrica mais elevada em relação ao leito do rio, em áreas de planície de inundação e em paisagens com forte controle estrutural; b) diversidade de vegetação, proporcionando distinta proteção ao solo; e c) os tipos de uso e ocupação das margens.

O perfil do Barranco do Touro (Figura 2) apresenta aproximadamente seis metros de altura, localizando-se na margem direita (côncava) do rio Paraguai, sendo sua formação originada de antigo terraço, o qual sofreu sucessivas fases de deposição de sedimentos. Neste segmento o rio Paraguai possui padrão meandrante, apresentando um processo intenso de erosão na margem côncava e deposição na margem convexa e na planície de inundação. Essa morfologia fluvial favorece o uso das margens para a criação de gado, pois facilita a retirada cobertura vegetal e substituição por pastagem, com conseqüente aumento da erosão pela intervenção antrópica. As características morfológicas, textura deste solo predominantemente arenosa a franco argilo-arenosa (Tabela 1) e de uso contribuem para maior erosão desse barranco, considerando que pastagens mal manejadas tendem a oferecer menor cobertura do solo. Além disso, a grande energia da água no meandro determina uma dinâmica maior das margens, resultando no colapso de grandes blocos de solo, os quais, provavelmente, são cimentados por material ferruginoso conforme relatado por Corrêa et al. (1976).

Figura 2 – Segmento do Barranco do Touro, primeiro perfil (Plintossolo Argilúvico eutrófico) e vegetação de ocorrência, entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.



O perfil do Marco do Jauru (Figura 3) encontra-se na área de planície na margem direita (côncava) do rio Paraguai. Neste trecho, o canal é meandrante com a vegetação das margens bem preservadas, constituída de árvores de grande porte, com presença comum da espécie Jatobá (*Hymenaea courbaril L.*).

Sobre o solo dessa área, de constituição arenosa e boa drenagem (Tabela 1) há uma camada considerável de serrapilheira que, juntamente à maior profundidade do sistema radicular fornece maior estabilidade às margens do rio, nesse trecho, aos processos erosivos.

Figura 3 – Segmento do Marco do Jauru, segundo perfil (Neossolo Quartzarênico Órtico típico) e vegetação de ocorrência, entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.



O perfil do Morro Pelado localiza-se na margem esquerda (convexa) do rio Paraguai, apresentando vegetação preservada (Figura 4). Nesse trecho o canal diminui a sinuosidade, tornando-se retilíneo, com forte controle estrutural na margem esquerda, enquanto na margem direita encontra-se a planície de inundação com presença de baías e lagoas.

A influência do substrato rochoso da Província Serrana (arenito da Formação Raizama e calcário da Formação Araras), na margem esquerda do rio Paraguai faz com que, neste trecho, ele apresente uma dinâmica mais estável, o que determina uma baixa taxa de processos erosivos nas margens.

Figura 4 – Segmento do Morro Pelado, terceiro perfil (Plintossolo Pétrico Litoplântico típico) e vegetação de ocorrência, entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.



O perfil Barranco Vermelho encontra-se na margem direita (côncava) do rio Paraguai (Figura 5). Neste trecho o rio apresenta-se bastante sinuoso, tornando-se meandrante e com grande dinâmica nas margens com formação de longos diques marginais na planície com predominância de sedimentos grosseiro, constituído preferencialmente de areia grossa e areia fina. A dinâmica fluvial acentuada, aliada a uma textura arenosa do terreno, que possui baixa coesão, promove, neste trecho, uma maior instabilidade nas margens, principalmente, nas margens côncavas do canal, posição de maior energia do fluxo da água.

Figura 5 – Segmento do Barranco Vermelho, quarto perfil (Neossolo Flúvico Psamítico típico) e vegetação de ocorrência, entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.



3.2 Atributos morfológicos dos solos e erosão nas margens

A partir dos atributos morfológicos (Tabela 1) foi possível distinguir, ao longo do segmento estudado, quatro classes de solos distintas e associações, classificadas conforme o manual de classificação de solos da Embrapa (2006), sendo estes: Plintossolo Argilúvico Eutrófico (associada ao Neossolo Litólico); Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Neossolo Flúvico Psamítico típico (associadas ao Gleissolo Háptico) e Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico (associada¹ ao Neossolo Litólico).

Conforme citado por Bertoni e Lombardi Neto (1990) características do solo, desenvolvidas durante sua gênese, tais como estrutura, textura, permeabilidade e consistência, além da cobertura do solo e relevo, entre outras, conferem aos mesmos graus distintos e variáveis de susceptibilidade aos processos erosivos. Nesse sentido, o Plintossolo Argilúvico Eutrófico e Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico comumente apresentam drenagem imperfeita (Tabela 1) e estão localizados em relevo que condiciona maior flutuação do lençol freático. Esses dois fatos, aliados aos ciclos de cheia do Pantanal, desencadeiam uma série de reações de oxi-redução, as quais resultam na redução e oxidação de óxidos de Fe e Mn e segregação desses elementos (SPARKS, 1994). Posteriormente, esses elementos se reoxidam e se acumulam na forma de mosqueados, plintitas e/ou petroplintitas, típicas da classe Plintossolo (CORINGA et al., 2012). A presença de petroplintita, resultado de vários ciclos alternados de umedecimento e secagem das plintitas, no perfil do solo promove maior estabilidade das margens do rio no segmento que margeia a Província Serrana, contribuindo dessa forma para um maior controle estrutural, diminuindo os processos erosivos marginais.

De modo geral, a morfologia indica uma maior resistência a processos erosivos para a classe Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico. Nesta classe, a presença de material ferruginoso petrificado confere uma maior estabilidade às margens do rio. Na classe Plintossolo Argilúvico Eutrófico é mais evidente a ocorrência do processo de solapamento nas margens. Nesta classe a maior translocação de argila no perfil diminui a porosidade total e confere uma baixa taxa de movimentação de água no perfil, o que pode explicar a maior instabilidade dessa margem do rio.

Tabela 1 – Características morfológicas⁽¹⁾ dos solos analisados no segmento do Rio Paraguai entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.

Hor	Prof. (cm)	Cor		Drenagem ⁽²⁾	Mosqueado ⁽³⁾	Textura ⁽⁴⁾	Estrutura ⁽⁵⁾	Consistência ⁽⁶⁾		
		Úmida	Seca					Seca	Úmida	Molhada
Plintossolo Argilúvico Eutrófico - FTe (Barranco do touro)										
Ap	0-20	7,5YR 4/2	10YR 4/2	DI	PPD	FAA	Fr, MPaG, G e BS	D	MF	Lpl, NPe
Aef	20-40	10YR 6/2	7,5YR 4/2	DI	CMD	AA	M, MPaG, BS	D	F	LPI, LPe
Ef	40-55	7,5YR 6/3	10YR 8/1	DI	AMD	FAA	Fr, PaG, BS	MD	F	LPI, LPe
Cf1	55-140	7,5YR 6/6	7,5YR 6/6	DI	AGD	A	Fr, MP, BS	ExD	Fi	MPI, Pe
2Cf2	140-158	2,5YR 6/2	2,5YR 7/1	DI	AGD	FA	M, MPaMG, BS	ExD	Mfi	MPI, Pe
3Cf3	158-190 ⁺	2,5YR 7/1	2,5YR 8/1	DI	AGD	AS	F, MPaMG, BS e C, F, P	ExD	Exfi	MPI, Pe
Neossolo Quartzarênico Órtico típico - RQo (Marco do Jaurú)										
O	2-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-8	7,5YR 3/2	-	AD	-	AF	GS	S	So	NPI, NPe
C1	8-18	7,5YR 4/3	-	AD	-	AF	GS	S	So	NPI, NPe
C2	18-55	7,5YR 4/3	-	AD	-	AF	GS	S	So	NPI, NPe
C3	55-80 ⁺	10YR 5/4	-	AD	-	AF	GS	S	So	NPI, NPe
Neossolo Flúvico Psamítico típico - RYq (Dique Barranco vermelho)										
A	0-10	2,5YR 7/3	-	AD	-	A	GS	S	So	NPI, NPe
2C1	10-22	2,5YR 8/3	-	AD	-	A	GS	S	So	NPI, NPe
3C2	22-75	2,5YR 8/3	-	AD	-	A	GS	S	So	NPI, NPe
4C3	75-80 ⁺	2,5YR 8/3	-	AD	-	A	GS	S	So	NPI, NPe
Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico - FTF (Morro Pelado)										
O	2-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-16	7,5YR	-	DI	-	AA	Fr, Mpam, G e BS	-	Mfi	LPI, LPe
Cr	16-29	5YR 3/4	-	DI	-	AA	Fr, Mpam, G e BS	-	Mfi	LPI, LPe
F	29-35 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Conforme Lemos e Santos (1996). ⁽²⁾ Drenagem: DI - drenagem imperfeita, AD - acentuadamente drenado. ⁽³⁾ Mosqueado: PPD - pouco, pequeno e distinto, CMD - comum, médio e distinto, AMD - abundante, médio e distinto, AGD - abundante, grande e distinto. ⁽⁴⁾ Textura: FAA - franco argila-arenosa, AA - argila-arenosa, Ar - argilosa, FA - franco-argilosa, AS - argila-siltosa, AF - areia franca, A - areia. ⁽⁵⁾ Estrutura: grau de desenvolvimento (Fr = fraca, M = moderada e F = forte), tamanho (MPaG = muito pequena a grande, PaG = pequena a grande, MP = muito pequena, MPaMG = muito pequena a muito grande, P = pequena e Mpam = muito pequena a média, tipo (G = granular, BS = blocos subangulares, GS = grãos simples. ⁽⁶⁾ consistência no estado seco: D - dura, MD - muito dura, ExD - extremamente dura, S - solta, úmido: MF - muito friável, F - friável, Fi - firme, Mfi - muito firme, Exfi - extremamente firme e So - solta, molhado: plasticidade - LPI - ligeiramente plástico, MPI - muito plástico e NPI - não plástico, pegajosidade - Npe - não pegajoso, Lpe - ligeiramente pegajoso, Pe - pegajoso.

As classes Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Neossolo Flúvico Psamítico típico estão localizadas em uma área de planície de inundação com tipos variáveis de sedimentos acumulados. O que distingue essas classes é a localização topográfica, a primeira em área de terraço e a segunda em dique marginal. Do ponto de vista da susceptibilidade² à erosão, a segunda classe é mais propensa que a primeira, considerando que a pedogênese é mais evoluída nesta.

Comparativamente, os teores de argila são superiores nas classes Plintossolos em relação às classes Neossolos. Os Plintossolos estão presentes na margem esquerda do rio ao longo da Província Serrana, esta unidade é formada por material geológico da Formação Araras (calcário, siltitos, argilitos), que intemperizados fornecem material mais fino aos solos (argila) e, esta fração aumenta a coesão do solo, o que eleva a estabilidade dos agregados nas margens do rio, diminuindo os processos erosivos neste trecho.

Diferentemente, a classe Neossolo, localizada ao longo da margem direita do rio e em área de planície de inundação, apresenta, de modo geral, altos teores de areia e baixos teores de argila. Tal característica pode estar relacionada à dificuldade do rio no processo de transporte de sedimentos grosseiros (areia). Por ser uma área localizada no alto curso e de planície, com característica de baixa declividade e baixa velocidade do fluxo de água, há tendência inicialmente a deposição inicial de material mais grosseiro e, que, por suspensão o material mais fino seja depositado mais à foz do rio, fato também relatado por Souza (2004).

Os resultados da descrição morfológica dos perfis dos solos estudados (Tabela 1) mostram que a estrutura predominante nos Plintossolos foi do tipo blocos subangulares, com grau de desenvolvimento fraco a moderado e com tamanho pequeno. Este tipo de estrutura é formada em razão dos maiores teores de argila desses solos, o que, a princípio, dá maior estabilidade às margens, pela maior coesão das partículas primárias do solo. Contraditoriamente, o seu grau de desenvolvimento fraco e tamanho pequeno pode favorecer a quebra dessa coesão, a partir da energia propagada pelo movimento das ondas nos barrancos do rio e ação desestabilizadora das águas durante ou após as inundações, promovendo a ruptura dos taludes.

Nos Neossolos a estrutura é do tipo grãos simples predominantemente constituída de grãos de quartzo. É um tipo de estrutura com baixa ou nenhuma coesão e, portanto, oferece pouca resistência aos processos erosivos. No entanto, a baixa declividade da área e elevada permeabilidade desse solo e sua localização na margem côncava, o torna mais uma área de recebimento do que de remoção de sedimentos. São nesses solos que se formam grandes áreas de diques marginais, mudança de canal, formação de ilhas etc., os quais constituem a dinâmica natural do rio Paraguai, conforme relatado por Souza e Cunha (2007).

A consistência entre as classes de solos estudadas são bem distintas. Os Plintossolos apresentam quando seco uma consistência dura a extremamente dura e, quando úmido, ligeiramente a muito plástica e ligeiramente pegajosa quando molhado, o que é determinada pelo maior teor de argila nestes solos, bem como à ação cimentante dos óxidos de Fe (CORRÊA et al., 1976).

No Neossolo Quartzarênico e Neossolo Flúvico, por apresentarem uma textura predominantemente arenosa, a consistência é solta quando o solo está seco e não plástica e não pegajosa quando úmido e molhado, respectivamente. Além dos baixos teores de argila (Tabela 2), também os menores teores de óxidos de Fe, os quais atuam cimentando as partículas primárias (CORRÊA et al., 1976), impede que a consistência seca seja dura, tal qual ocorre nos Plintossolos (Tabela 1).

Esta distinção entre as classes reforça que a ocorrência de Plintossolo no seguimento Morro Pelado (Figura 3) e Neossolo Litólico na margem esquerda do rio Paraguai, ao longo da área de contato com a Província Serrana (controle estrutural) fornecem a essas margens uma maior resistência aos processos erosivos, comparativamente à margem direita com domínio das classes Neossolos, exceto no Neossolo Quartzarênico Órtico em que o processo erosivo é atenuado pela vegetação.

3.3 Atributos físicos e químicos dos solos e erosão nas margens

As condições que favorecem a formação de Plintossolos são encontradas na margem esquerda do trecho compreendido entre a foz do rio Jauru e a Ilha de Taiamã. Neste trecho (Figura 4) os Plintossolos aparecem associados à Neossolos Litólicos, sempre obedecendo a sequência de Plintossolos na margem e Neossolo Litólico na parte mais alta, raramente chegando à margem. Embora estes solos apresentem limitações severas ao crescimento radicular, seus atributos químicos (Tabela 2) e mecanismos de adaptação das plantas a condições adversas asseguram o crescimento da vegetação.

Tabela 2 – Atributos físico-químicos de solos no segmento do rio Paraguai entre Cáceres e a Ilha de Taiamã, Mato Grosso, Brasil.

Horizontes	pH	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	Argila	Areia	Silte
	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹		
Plintossolo Argilúvico Eutrófico - FTe (Barranco do Touro) ¹											
AP	5,1	15,0	21,2	56,19	1,91	1,04	0,20	3,50	111,6	669,4	219,0
AEf	5,5	6,0	4,1	37,83	1,56	0,98	0,30	2,51	128,3	634,3	237,4
E	5,4	2,8	2,9	25,60	1,09	1,11	0,20	1,61	100,0	635,3	264,7
C1	6,1	2,0	1,8	37,83	1,32	6,82	0,00	2,15	389,1	436,0	174,9
2C2	8,3	1,2	5,8	80,67	2,14	6,96	0,00	0,00	355,7	561,7	82,6
3C3	8,2	1,4	14,5	111,27	3,41	12,75	0,00	0,00	676,3	164,5	159,2
Neossolo Quartzarênico Órtico típico - RQo (Marco do Jauru)											
O	5,8	20,0	39,7	111,27	3,07	0,94	0,00	2,15	121,3	732,4	146,3
A	7,1	3,0	11,5	19,48	1,17	0,85	0,00	0,68	19,6	975,7	4,7
C1	5,4	1,4	7,0	13,36	0,60	0,28	0,20	1,07	29,5	966,3	4,2
C2	5,8	0,4	4,0	1,12	0,30	0,84	0,00	0,70	12,1	983,0	4,9
C3	5,8	0,8	4,6	1,12	0,51	0,21	0,00	0,79	18,4	977,4	4,2
Neossolo Flúvico Psamítico típico - RYq (Dique Barranco Vermelho)											
A	5,7	22,0	7,3	74,55	3,12	1,56	0,00	6,03	145	763,8	91,2
2C1	4,4	12,6	3,4	19,48	0,56	0,43	1,10	5,28	99,9	871,2	28,9
3C2	4,3	5,6	1,8	1,12	0,39	0,28	1,30	4,83	78,1	883,3	38,6
4C3	4,6	6,4	5,0	1,12	0,37	0,36	1,00	2,71	60,2	905,9	33,9

¹ Classe de solo (SiBCS) e local da coleta.

A vegetação presente nesse ponto (Figura 4) é de mata caducifólia e xerófita nos pontos de afloramento rochoso. A presença de vegetação combinada às características morfológicas destes solos confere maior estabilidade às margens, que apresenta apenas pequenos sinais de solapamento, devido às ondas.

Os Neossolos Flúvicos têm seu processo de formação ligado à deposição de sedimentos fluviais. Portanto, apresentam elevada variabilidade espacial de seus atributos químicos, mesmo no mesmo perfil (Tabela 2). Estes solos possuem sua fertilidade natural dependente da riqueza de nutrientes das águas do rio e do material transportado e depositado. Por se tratar de uma bacia de sedimentação, as águas do Rio Paraguai possuem valores de nutriente capazes de formar solos com fertilidade média a alta. No entanto, o perfil ora estudado apresenta baixa fertilidade e alta saturação por Al³⁺, exceto no horizonte A. A fertilidade natural desse solo permite a permanência de uma vegetação rasteira e semiarbusiva, porém com sistema radicular abundante. Dessa forma, esse tipo de vegetação ameniza os processos erosivos, embora o solo apresente estrutura e textura que oferecem baixa resistência à erosão.

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam processo de gênese mais avançado e cota altimétrica ligeiramente superior aos Neossolos Flúvicos. Estas condições somadas aos seus atributos químicos favoráveis nos horizontes superficiais (Tabela 2) permitiram o estabelecimento de vegetação arbórea (Figura 3). A presença da vegetação contribui para resistência à erosão, atenuando o efeito contrário proporcionado pela estrutura frágil (Tabela 1.) deste solo,

principalmente devido aos baixos teores de argila (Tabela 2). Ainda assim, foi constatado erosão nas margens, embora em ritmo menos acelerado que nas margens do Neossolo Flúvico.

Em ambos Neossolos descritos, o elevado teor de areia e baixo teor de matéria orgânica conferem baixa coesão às partículas, as quais se apresentam estrutura do tipo grão simples, a qual é indicadora de um ambiente frágil, altamente susceptível a erosão, cuja ação antrópica, quer seja pela retirada da mata ciliar, formação de pastagem, uso do rio para dessedentação dos animais ou navegação, deve acelerar a erosão das margens.

Ressalta-se a pobreza em P em todos os perfis analisados, provavelmente devido ao material de origem constituintes destes solos e à baixa capacidade de adsorção desse elemento em solos arenosos. No entanto, exceto no Neossolo Flúvico, a ocorrência de vegetação arbórea exuberante nas margens pressupõe uma eficiente ciclagem desse elemento pelas espécies nativas, comprovado pelos teores mais elevados de P nos horizontes superficiais do RQo e FTe.

Embora não tenha sido possível identificar exatamente qual a contribuição das ações antrópicas para as erosões marginais observadas nos perfis analisados, observou-se que a erosão nas margens por solapamento é acelerada por ondas provocadas por embarcações, incluindo as utilizadas para transporte de cargas e lazer, tais como as “voadeiras³ e chalanas. É possível identificar esse fato em canais não navegáveis, onde os sinais de solapamento são menos evidentes. No canal navegável, mesmo nos solos mais resistentes a erosão, os sinais de solapamento são mais evidentes e atingem o máximo nas margens côncavas do canal onde a energia natural do fluxo da água soma-se ao efeito das embarcações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos que compõem as margens do rio Paraguai no trecho estudado, constituem uma associação de classes, com ampla variação morfológica e de atributos químicos e físicos, os quais resultam em diferentes suscetibilidades aos processos erosivos, os quais ocorrem em diferentes graus ao longo do rio. Dessa forma, a classificação dos solos permite-se aos gestores públicos e usuários do rio traçarem estratégias de planejamento racional do uso do canal, de modo evitar a potencialização da erosão natural.

As características geoambientais ao longo do trecho analisado, incluindo a posição na paisagem, textura do solo, tipo de vegetação, tipos de uso e ocupação das margens, influenciam os processos erosivos nas margens. Em particular, os altos teores de areia observados em todos os perfis, exceto os horizontes subsuperficiais do Plintossolo Argilúvico Eutrófico, determinam alta erodibilidade aos barrancos das margens.

Os solos dos perfis estudados apresentaram fertilidade alta, exceto o Neossolo Flúvico Psamítico típico, a qual foi média. Esse fato permite o estabelecimento de vegetação arbustiva e arbórea, que contribui para elevar a estabilidade nas margens, diminuindo ou retardando a erosão.

NOTAS

¹ Classes associadas: de acordo com IBGE (2007) associação é um agrupamento de unidades taxonômicas definidas, associadas geográfica e regularmente num padrão de arranjo definido. É constituída por classes de solos distintos, com limites nítidos ou pouco nítidos entre si, que normalmente podem ser separados em levantamentos de solos mais pormenorizados.

² Suscetibilidade à erosão indica a facilidade que o solo tem de se deixar erodir, ou seja, a sua erodibilidade. São vários fatores que determinam a sua erodibilidade.

³ Voadeiras são canoas metálicas que se movem acionadas por motor de polpa, atingindo alta velocidade.

AGRADECIMENTOS

A Rede Pro Centro-Oeste MCT/CNPq/FNDCT/FAPs/MEC/CAPES n° 031/2010 pelo apoio financeiro através da Rede ASA de estudos sociais, ambientais e de sistemas para o desenvolvimento produtivo da região sudoeste de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

BARROS, A. M. et al. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RadamBrasil**. Cuiabá: Centro de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso Potencial da Terra, 1982. Projeto RADAMBRASIL, Folha SD, p. 25-192.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite**: monitoramento do bioma Pantanal. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/pantanal/RELATORIO_PANTANAL_2008_PMDBB_S.pdf>. Acesso em: 23 set. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blücher, 1981.

CORINGA, E. de A. O. et al. Atributos de solos hidromórficos do Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazon**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 19-28, 2012.

CORRÊA, J. A. et al. **Geologia das regiões centro e oeste de Mato Grosso do Sul**. Brasília, DF: DNPM, 1976. Projeto Bodoquena. Mapa Geol. Escala 1:250.000. Série Geologia Básica, 3.

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. The Soil Diversity of the Pantanal. In: _____. **The Pantanal of Mato Grosso**: ecology biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. Sofia: Pensoft, 2010. p. 40-64.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Segunda versão do sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2006.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Erosão Marginal no Lago da UHE Itaipu (PR)**. 1995. 110 f. Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

FIGUEIREDO, A. J. A.; OLIVATTI, A. **Projeto Alto Guaporé**: relatório final. Goiânia: DNPM/CPRM, 1974. 11 v. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 323).

IBGE. **Manuais técnicos em geociências**: manual técnico de pedologia. 2. ed. Brasília, DF, 2007.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. de. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 24, no. 4, p. 391-401, 2005.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas, SP: SBCS, 1996.

LUZ, J. S. et al. **Projeto Província Serrana**: relatório final. Goiânia: Ministério das Minas e Energia, 1978.

SANTOS, F. A. S. et al. Atributos físicos e químicos de solos das margens do rio Paraguai. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 239-249, 2013.

SILVA, A. et al. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 167-177, mar. 2008.

SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taiamã-MT**. 2004. 173 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres - MT: dinâmica das margens do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã-MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 1, n. 5, p. 18-42, 2007.

SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B.; CABRAL, I. L. L. et al. Ambiente do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã - MT. In: SOUZA, C. A. (Org.). **Bacia Hidrográfica do rio Paraguai-MT**: dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação ambiental. São Carlos: Cubo, 2012. p. 23-37.

SOUZA, J. B.; SOUZA, C. A. Caracterização morfológica e mineralógica de solos em ambientes de cordilheira e campo de inundação no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 3, n.1, p. 53-66, 2013.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1994.

THORNE, C. R.; TOVEY, N. K. Stability of composite river banks. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v. 6, no. 5, p. 469-484, Sept./Oct. 1981.

Data de submissão: 10.12.2013

Data de aceite: 08.10.2014

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.