



Microrrelevos: formas e processos pedogeomorfológicos com ênfase em gilgais em ambiente semiárido

Microreliefs: forms and pedogeomorphological processes with emphasis on gilgais in semi-arid environment

Damião Isaac de Lira ; Davi do Vale Lopes* ; Antônio Rodrigues Ximenes Neto ; Abner Monteiro Nunes Cordeiro

Departamento de Geografia, Centro de Ensino Superior do Seridó (CERES),
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, Brasil.

E-mail: isaaclira1999@gmail.com (DIL); davivlopes@hotmail.com (DVL);
antonio.ximenes@ufrn.br (ARXN); abner.cordeiro@ufrn.br (AMNC)

*Email para correspondência: davi.lopes@ufrn.br

Recebido (Received): 23/05/2024

Aceito (Accepted): 15/07/2024

Resumo: Os microrrelevos estão presentes em diversos ecossistemas terrestres, inclusive em outros planetas, como Marte. Os microrrelevos podem ser indicadores de ambientes com maior presença de umidade, como encontrado em regiões semiáridas. Podem, ainda, serem indicadores da presença de argilas expansivas (2:1), de bioturbação ou da ocorrência de *permafrost*, estes em ambientes periglaciais. Na literatura nacional, há uma lacuna sobre os microrrelevos, sobretudo aos gilgais presentes no semiárido brasileiro. O objetivo desse estudo foi analisar a gênese, a morfologia e as feições associadas a microrrelevos, em distintos ambientes terrestres, com ênfase em gilgais em ambientes semiáridos, a partir de um estudo de revisão bibliográfica. Em áreas com microrrelevos, a pedoturbação ocorre de maneira generalizada, sendo associada ao congelamento, a bioturbação, ou a argilopedoturbação. Dessa forma, é marcante a abertura de caminhos preferenciais para a percolação hídrica (pelas fendas ou canais). Em ambientes tropicais semiáridos, o processo primordial para a gênese de gilgais está associado à presença de argilas expansivas de atividade alta e aos modelados de acumulação com maior ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem. As paisagens com microrrelevos possuem em comum uma complexidade de processos pedológicos e geomorfológicos, que para serem melhor compreendidos necessitam de relações interescares, do macro ao micro, e vice-versa.

Palavras-chave: Argilas expansivas; *Patterned ground*; Microtopografia; Vertissolo; Solo e relevo.

Abstract: *Microreliefs are present in several terrestrial ecosystems, including on other planets, such as Mars. These can be indicators of environments with a greater presence of humidity (such as in semi-arid regions), they can be indicators of the presence of expansive clays (2:1), bioturbation or the occurrence of permafrost (in periglacial environments). In the national literature there is a large gap regarding the gilgal microreliefs of the Brazilian semi-arid region. The objective of this study was to analyze the genesis, morphology and features associated with microreliefs, in different terrestrial environments, with an emphasis on gilgais in semi-arid environments based on a bibliographic review study. In areas with microreliefs, soil disturbance occurs in a widespread manner, being associated with freezing, bioturbation, or clay disturbance. In this way, the opening of preferential paths for water percolation (through cracks or channels) is remarkable. In semi-arid tropical environments, the primordial process for the genesis of gilgais is associated with the presence of expansive clays with high activity and accumulation models with a greater occurrence of wetting and drying cycles. Landscapes with microreliefs have in common a complexity of pedological and geomorphological processes, which in order to better discover interscalar relationships, from macro to micro and vice-versa.*

Keywords: *Expansive clays; Patterned ground; Microtopography; Vertisol; Soil and landform.*

1. Introdução

Os microrrelevos estão presentes em diversas partes do mundo, inclusive em outros planetas, como Marte (MANGOLD, 2005), possuindo importância diversa, como indicadores de ambientes com maior presença de

umidade, presença de argilas expansivas (2:1), de bioturbação ou de ocorrência de *permafrost* (MAXWELL, 1994; DIXON, 2009; LIMA, 2014; LIRA *et al.* 2022; LOPES; OLIVEIRA; SCHAEFER, 2023).

Microrrelevos envolvem diversos modelos de formação e a consequente atuação de variáveis ambientais múltiplas, que interagem nas características das feições de cada ambiente, contribuem para diferenças e similaridades entre as áreas de ocorrência (WHITE; AGNEW, 1968). As características gerais atribuídas aos microrrelevos podem incluir movimentos ascendentes e/ou descendentes de partículas, segregações, formações de fendas, superfícies de fricção, entre outras (WHITE; AGNEW, 1968; KRANTZ, 1990).

Os chamados *patterned ground* são tidos como um tipo específico de microrrelevo, normalmente associados a ambientes polares e periglaciais (LOPES; OLIVEIRA; SCHAEFER, 2023). Em ambientes desérticos e semiáridos, é comum a ocorrência de microrrelevo do tipo gilgai (MAXWELL, 1994; DIXON, 2009; LIMA, 2014; LIRA *et al.* 2022; MEDEIROS *et al.* 2024). Em ambientes tropicais, são recorrentes outras categorias de microrrelevos, como murundus e surales (ZANGERLÉ, 2016). Assim sendo, existem diversos processos envolvidos na gênese dos microrrelevos, englobando mecanismos pedogeomorfológicos (DIXON, 2009; LOPES; OLIVEIRA; SCHAEFER, 2023).

O objetivo desse estudo foi analisar a gênese e classificação de microrrelevos, em distintos ambientes, com ênfase em gilgais em ambientes semiáridos, a partir de uma perspectiva pedogeomorfológica, ou seja, buscando demonstrar que os mecanismos relacionados à gênese dessas superfícies possuem caráter dual, envolvendo processos morfogenéticos e pedogenéticos. Essa abordagem integrada das relações solo e relevo contribui com o melhor entendimento desse fenômeno, principalmente no semiárido brasileiro, ainda pouco estudado a partir desta perspectiva.

Os procedimentos metodológicos deste estudo basearam-se em pesquisa bibliográfica sobre microrrelevos em distintos ecossistemas terrestres, análises em gabinete e na experiência acumulada dos pesquisadores do Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Aplicada (LAGESA), do campus do Centro de Ensino Superior do Seridó (CERES), vinculado a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), o qual vem atuando na análise e monitoramento de distintos ecossistemas no semiárido brasileiro, com ênfase no Rio Grande do Norte e na Paraíba. Utilizou-se registros fotográficos feitos pelos próprios autores, em distintas expedições de campo na região mencionada. Elaborou-se fluxogramas interpretativos das morfologias associadas à gilgais e dos processos relacionados.

2. Microrrelevos: formas e processos

Microrrelevos estão associados a uma vasta gama de processos genéticos (WHITE; AGNEW, 1968). Essas formas estão distribuídas pelos distintos ecossistemas terrestres, ocorrendo desde zonas desérticas quentes, passando por ambientes semiáridos, trópicos úmidos a ambientes periglaciais e desertos polares (Tabela 1).

Tabela 1: Microrrelevos associados a distintos ambientes terrestres e processos variados.

Ambiente	Processos	Referências
Polar e Periglacial	Associado ao <i>permafrost</i> e a ciclos de congelamento e descongelamento	BOCKEIM, 2005, 2014; MACKAY, 1980
Tropical com ciclos sazonais	Associado a ciclos de umedecimento e secagem em ambientes com argilas expansivas	PATON, 1974
Tropical com processos erosionais	Associado aos processos erosivos modeladores das paisagens	KHITROV, 2016a
Ação biológica em ambiente tropical	Associado às ações da fauna, como térmitas, minhocas e formigas	HENSLEY <i>et al.</i> (2021); ZAMGERLÉ <i>et al.</i> 2016

Entre os diversos tipos de microrrelevos existentes nos distintos ecossistemas terrestres tem-se as seguintes categorias: i) associados a *permafrost*, conhecidos de maneira genérica como *patterned ground*, podendo ser classificados de maneira específica como, *circles*, *polygons*, *nets*, *steps*, *strips*, *pingos* e *palsas*; ii) associados a fauna, como os surales e murundus; e iii) os associados à expansão e contração de argilas expansivas, caso dos gilgais (Tabela 2).

Tabela 2: Tipos de microrrelevos, ambiente de ocorrência e processos associados.

Microrrelevos	Ambiente	Processos
<i>Circles</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado ao congelamento e descongelamento em ambiente com <i>permafrost</i> em área com relevo plano, gerando formas circulares.
<i>Polygons</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado ao congelamento e descongelamento em ambiente com <i>permafrost</i> em área com relevo plano, formando polígonos.
<i>Nets</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado ao congelamento e descongelamento em ambiente com <i>permafrost</i> em área com relevo plano, formando redes.
<i>Steps</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado ao congelamento e descongelamento em ambiente com <i>permafrost</i> em área com relevo suave ondulado a ondulado, formando degraus na paisagem.
<i>Strips</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado ao congelamento e descongelamento em ambiente com <i>permafrost</i> em área com relevo suave ondulado a ondulado, formando listras.
<i>Pingos</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado a saliências de congelamento perene em ambiente com <i>permafrost</i> . Sua altura pode ser superior 60 m e o diâmetro pode chegar a 600 m.
<i>Palsas</i>	Periglacial	Tipo específico de <i>patterned ground</i> , associado a saliências de congelamento perene em ambiente com <i>permafrost</i> . São de menor dimensão que os pingos, podendo chegar a 6m de altura.
<i>Surales</i>	Tropical úmido	Ação biológica em áreas úmidas.
Murundus	Tropical	Ação biológica e/ou erosão diferencial
Gilgais	Tropical semiárido	Expansão e contração em áreas com argilas de atividade alta.

Fonte: Adaptado de Lopes (2020).

2.1. A ação do congelamento e os microrrelevos *patterned ground*

Patterned ground diz respeito a superfícies cuja morfologia apresenta algum tipo de padrão discernível e ordenado, sendo produtos dos ciclos de congelamento e descongelamento (BOCKEIM, 2005). Em ambientes periglaciais a gênese de *patterned grounds* está associada ao *permafrost* e aos constantes ciclos de congelamento e descongelamento, em que a crioturbação tem papel relevante (MACKAY, 1980; BOCKEIM, 2014; LOPES *et al.* 2022; 2024).

Nessas condições, tem-se segregação de partículas, sendo comum a ocorrência de superfícies pedregosas com fragmentos grossos (> 6 cm de dimensão) (MACKAY, 1980; IUSS WORKING GROUP WRB, 2022). Assim, tem-se vários padrões morfológicos, como *polygons*, *circles*, *nets*, *steps*, *strips*, *pingos* e *palsas* (BOCKEIM, 2014; LOPEZ-MARTINEZ *et al.* 2012; LOPES *et al.* 2022) (Tabela 2).

Em estudo na Antártica Marítima, Lopes *et al.* (2023) apontaram que os processos mais relevantes para a formação dos *patterned ground* foram a crioclastia e a crioturbação. De acordo com os autores, foram registradas diferenças marcantes entre as zonas centrais e as bordas dos *patterned ground*, com centros de material mais siltoargiloso, além de valores mais elevados de soma de bases e nutrientes, como K e P. Áreas com *patterned ground* possuem variação das propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos em microescala. Nesta conjuntura, observa-se relações ecológicas em que as bordas são mais colonizadas pela vegetação e possuem teores mais elevados de matéria orgânica (LOPES; OLIVEIRA; SCHAEFER, 2023).

Áreas com *patterned ground* possuem caráter dual (pedogeomorfológico), sendo de inestimável valor para o estudo do estabelecimento de condições periglaciais (LOPES *et al.* 2024) e para o monitoramento das possíveis alterações diante os cenários de mudanças climáticas (LOPEZ-MARTINEZ *et al.* 2012; LOPES *et al.* 2022; LOPES; OLIVEIRA; SCHAEFER, 2023).

Além dos ambientes frios terrestres (periglaciais e glaciais), também existem registros de *patterned grounds* em outros planetas, como Marte (MANGOLD, 2005; CHAN *et al.* 2007). A identificação, caracterização e comparação destas formas de relevo são importantes para compreender os climas do passado, bem como a distribuição do gelo subterrâneo (MANGOLD, 2005; CHAN *et al.* 2007). Em Marte, a contração térmica devido às variações sazonais de temperatura também é o processo predominante de

formação dos *patterned grounds*, sendo registradas fendas com tamanhos que variam de 15 a 300m (MANGOLD, 2005). Neste planeta, tem-se registros de polígonos de tamanhos diversos, sendo os pequenos inferiores 40 m e os grandes variando de 50 a 300 m, destacando-se que essas dimensões são muito superiores às encontradas na Terra, provavelmente devido às condições climáticas mais extremas (MANGOLD, 2005).

2.2. A ação da fauna e os microrrelevos *surales*

Os *surales* estão associados a áreas deprimidas úmidas em que se tem intensa bioturbação, promovida por minhocas que depositam excrementos espacialmente concentrados, originando montes, predominantemente arredondados, densamente compactados e regularmente espaçados (ZAMGERLÉ *et al.* 2016; HENSLEY *et al.* 2021). Embora as descrições dos *surales* remontem à década de 1940, suas relações ecológicas ainda são pouco conhecidas (ZAMGERLÉ *et al.* 2016).

Em estudo em ambiente tropical úmido da Colômbia, Zamgerlé *et al.* (2016) identificaram diâmetro de *surales* variando entre 0,5-5 m e altura variando de 0,3 a mais de 2 m. A gênese dos *surales* está ligada a presença das minhocas em ambientes mal drenados, as quais se alimentam de partículas do solo e depositam seus excrementos acima do nível da água (ZAMGERLÉ *et al.* 2016). Nesta dinâmica impulsionada pela fauna, os *surales* possuem uma série de galerias internas, as quais são essenciais para o processo de respiração das minhocas e oxigenação do solo (ZAMGERLÉ *et al.* 2016). O crescimento das saliências muitas vezes se dá pela coalescência entre montes vizinhos (ZAMGERLÉ *et al.* 2016).

Mijares e Buitrago (2019) ressaltam que essas áreas são muito importantes do ponto de vista ecológico, pois, podem estar associadas a uma maior diversidade florística, como foi registrado em áreas com *surales* na Colômbia. Segundo Hensley *et al.* (2021), a configuração da microtopografia encontrada em Ozark Highlands, nos EUA, se assemelha bastante aos *surales* da América do Sul, em que as saliências possuem melhor drenagem em comparação com as reentrâncias. Também foram registradas variações das espécies de fauna e flora entre estes dois segmentos, no entanto o processo de gênese dos microrrelevos da área mencionada não foi definido.

2.3. Os microrrelevos *murundus*

Os *murundus*, também conhecidos como covoais, são microrrelevos com elevações semicirculares que sobressaem da superfície do terreno, arredondadas ou ovais (MALHEIRO *et al.* 2024). A maior parte das ocorrências dos *murundus* está associada a áreas úmidas (*wetlands*) situadas sobre depósitos aluviais, em cabeceiras em forma de anfiteatro e em depressões de topo (OLIVEIRA FILHO, 1992a; MALHEIRO *et al.* 2024). Sua ocorrência é frequente no Cerrado, mas também existem registros em áreas da Caatinga, Mata Atlântica, Amazônia e Pantanal (OLIVEIRA FILHO, 1992a; BAPTISTA *et al.* 2013; MOREIRA; FILHO, 2017; SANTOS *et al.* 2020; MALHEIRO *et al.* 2024).

Não existe um consenso em relação a gênese dos *murundus* (BAPTISTA *et al.* 2013), sendo as principais teorias associadas à: i) origem biológica associado a atividade de térmitas (*cupins*) e ciclos de ocupação de diferentes colônias (OLIVEIRA FILHO, 1992a); ii) influência da água superficial e subsuperficial (OLIVEIRA FILHO *et al.* 1992b; FURLEY, 1986); iii) erosão diferencial (SILVA *et al.* 2010; LIMA; CORRÊA, 2021); iv) todos os processos citados combinados e alternados, com maior influência da erosão diferencial (BAPTISTA *et al.* 2013).

Os tamanhos dos *murundus* são variados. Em estudo no Estado de Goiás, Malheiro *et al.* (2024) registraram dimensões médias de 70 cm de altura e 6 m de diâmetro. Em pesquisa no Mato Grosso, Oliveira-Filho (1992a), identificou montículos arredondados variando de 0,3 a 20,0m de diâmetro e de 0,2 a 2,0 m de altura, os quais encontravam-se espalhados por pastagens e menos frequentemente sob formações florestais da região do Cerrado do Brasil Central. Por sua vez, em estudo em Brasília, Baptista *et al.* (2013), registraram dimensões oscilando entre 0,1 e 20 m de diâmetro e 0,2 a 3 m de altura. Em estudo em área de Cerrado na Bahia, Santos *et al.* (2020) apresentaram diâmetro entre 15,40 e 20,20 m com média de 17,62m e altura variando de 0,60 a 1,00m com média de 0,85m e distância entre os *murundus* oscilando entre 31,88 e 62,09m com média de 46,13m.

As áreas associadas ao microrrelevo dos *murundus* podem ocorrer em zonas com ou sem influência de lençóis freáticos elevados, sendo que a maior parte dos estudos relata a presença do microrrelevo em condições de drenagem deficiente (BAPTISTA *et al.* 2013; SANTOS *et al.* 2020).

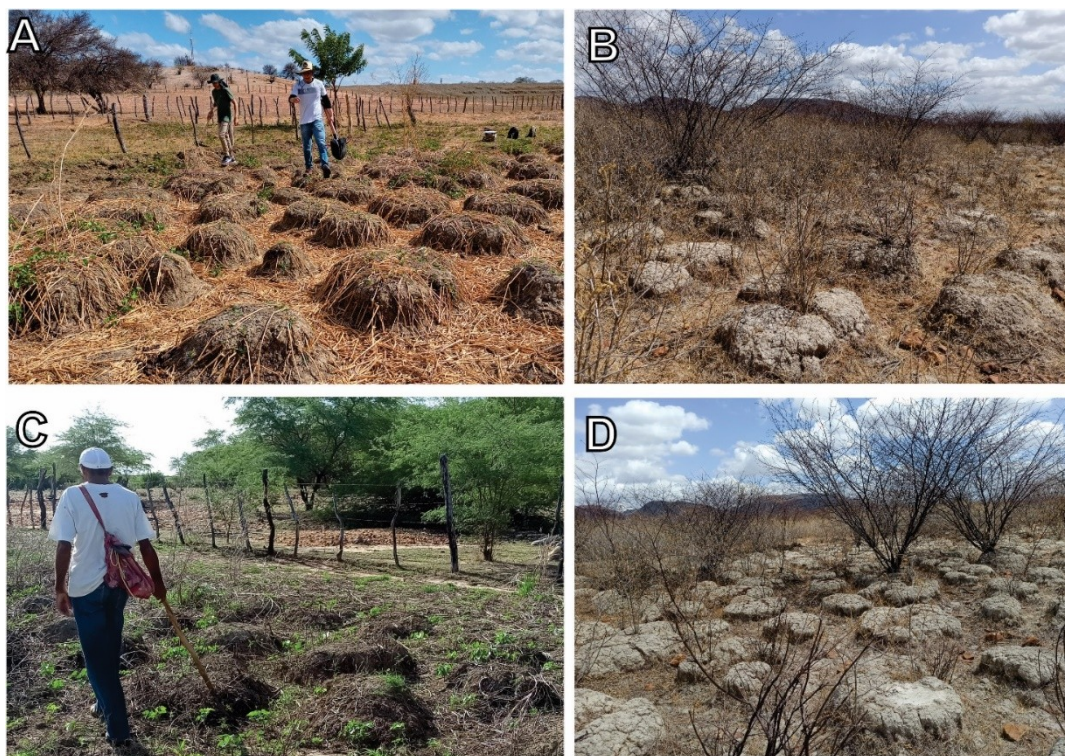
De acordo com Oliveira Filho (1992a), em áreas sujeitas a excesso hídrico estacional, os murundus tornam-se verdadeiras ilhas ecológicas capazes de abrigar plantas lenhosas de cerrado, as quais são normalmente muito intolerantes à saturação hídrica no solo (OLIVEIRA FILHO, 1992a). Apesar da sua importância ecológica, essas geofomas muitas vezes sofrem com os impactos do avanço da agropecuária no Brasil-Central (MALHEIRO *et al.* 2024).

3. Microrrelevos gilgais

O termo gilgai tem origem Aborígine australiano, associado a poço de água (*water hole*), possuindo uma sucessão de micromontes e microdepressões com diferença de nível ≥ 10 cm, associado a Vertissolos (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022). De acordo com Derm (2011), o termo é de origem australiano, sendo utilizado pelos Kamilaroi, Wiradhuri e línguas aborígenes relacionadas para se referir a uma pequena acumulação de água no interior de pequenas zonas alagadiças. Este termo aparece apenas quatro vezes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.* 2018). Nos principais sistemas internacionais de classificação de solos, os termos “gilgai” e “gilgaic” aparecem seis vezes no Sistema da FAO/WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2022) e não aparece na U.S. *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2022).

Trata-se de um microrrelevo típico de solos argilosos que têm um alto coeficiente de expansão com aumento no teor de umidade, consistindo em saliências convexas distribuídas em áreas quase planas ou configurando feição topográfica de sucessão de pequenas depressões e elevações (SANTOS *et al.* 2018).

As características comuns de áreas com gilgais são a textura argilosa, o alto teor de minerais do grupo esmectitas, os quais possuem as propriedades de expansão e contração com os ciclos de umedecimento e secagem (DERM, 2011; KHITROV, 2016a; LIRA *et al.* 2022. MEDEIROS *et al.* 2024). Os gilgais são comuns em ambientes áridos e semiáridos, como é o caso de parte do Nordeste brasileiro (LIRA *et al.* 2022; MEDEIROS *et al.* 2024) (**Figura 1**).



Legenda: A – Gilgais com micromontes convexos; B – Gilgais individualizados por processos erosivos e fendilhamentos do solo; C e D – Gilgais com segmentos de topos planos. **Fonte:** Arquivo dos autores (2024).

Figura 1: Representações de morfologias associadas a áreas com ocorrência de gilgais no semiárido brasileiro.

3.1. Gênese e processos pedogeomorfológicos associadas a microrrelevos gilgais

A partir das observações das áreas de ocorrências e das características dos microrrelevos gilgais no semiárido brasileiro, identificou-se que estas geoformas estão muito associadas com modelados de acumulação, fluvial ou lacustre, principalmente associados a lagoas rasas e sazonais (**Figura 2**).

Um dos fatores primordiais para a gênese destes microrrelevos é a existência de água e de condições favoráveis a ciclos de umedecimento e secagem (**Figura 2**). As áreas imperfeitamente ou mal drenadas permitem a existência de ciclos de umedecimento e secagem, estes impulsionados pela evapotranspiração elevada, os quais favorecem a gênese e o desenvolvimento dos gilgais (KHITROV, 2016a; LIRA *et al.* 2022; MEDEIROS *et al.* 2024). Por isso, sua ocorrência não é generalizada, mas restrita a áreas em que se tem essa combinação de fatores.

O acúmulo de partículas finas (silte + argila), com destaque para as argilas expansivas (2:1), como o grupo das esmectitas, favorece a expansão e contração, sendo essa uma das responsáveis por grande parcela das variações morfológicas (KABALA *et al.* 2015). O déficit de infiltração de água no solo ocorre por causa da presença do mineral esmectita, que apresenta capacidade de absorver grande quantidade de água. Tal processo acarreta no aumento do volume do solo e é força motriz para a expansão lateral e vertical deste (AHMAD *et al.* 2021).

O processo de argilopedoturbação, associado à expansão e contração das argilas, promove o revolvimento do solo, podendo segregarg materiais, tornar os horizontes irregulares e formar feições como as superfícies de fricção (*slickensides*). Essas são superfícies alisadas e lustrosas, apresentando, na maioria das vezes, estriamento marcante, produzido pelo deslizamento e atrito da massa do solo devido à forte expansibilidade do material argiloso por umedecimento (SANTOS *et al.* 2018).

O processo de expansão e contração gera aumento da pressão do solo (influenciando vertical e horizontalmente) e pode interferir no crescimento radicular, na infiltração e na percolação hídrica (PATON, 1974; KHITROV, 2016a). Áreas com gilgais, comumente, possuem superfícies fendilhadas (PATON, 1974). De acordo com Santos *et al.* (2018), áreas com microrrelevo do tipo gilgais possuem grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha quando seca, e se expande quando úmido. Essas áreas possuem solos com consistência muito plástica e muito pegajosa devido à presença comum de argilas expansíveis ou mistura destas com outros argilominerais (SANTOS *et al.* 2018).

A partir das observações de campo no semiárido brasileiro, identificou-se que, muitas vezes, as fendas são áreas que propiciam o maior acúmulo hídrico. Essas também favorecem o crescimento radicular no seu interior e podem ser preenchidas por materiais colapsados de suas bordas. Esse preenchimento tende a favorecer o aumento da pressão do solo nos seguintes ciclos de expansão e contração. Em regiões áridas e semiáridas também há influência da expansão térmica (associada à termoclastia), a qual favorece a fragmentação de partículas e geração de outras fendas secundárias (**Figura 2**).

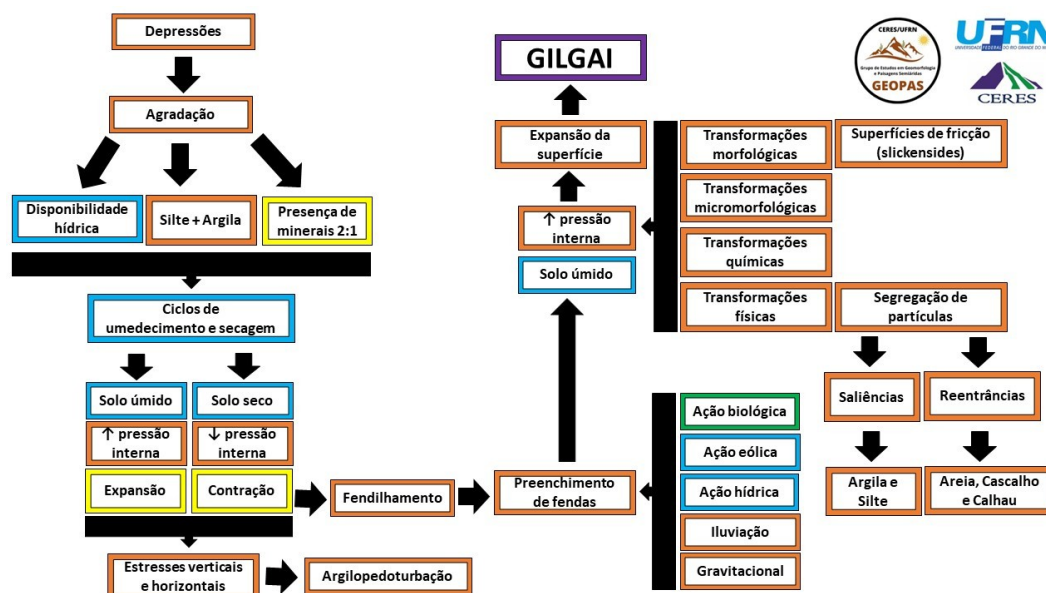


Figura 2: Representação de processos associados à gênese de gilgais. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024), baseado em Khitrov (2016a)

Segundo Khitrov (2016a), os solos associados a gilgais sofrem diferentes processos em curtas distâncias por sua condição de variação de elevação em pequenas áreas (**Figura 2**). A disponibilidade de água no sistema desencadeia grande parte dos fatores atuantes na microtopografia. A presença de argilas expansivas e ciclos de umedecimento criam variações de pressão interna no solo, resultando em estresses verticais e horizontais associados à argilopedoturbação.

O fendilhamento do solo (**Figura 3**) ocorre durante a contração e pode ser preenchido por material de origem biológica, eólica, hídrica (erosão e iluviação) e por meio da queda de fragmentos rochosos na borda das rachaduras (ação gravitacional) (DERM, 2011). O preenchimento das fendas gera maior pressão interna na presença de variações positivas de umidade e ocorre a formação do microrrelevo. A dinâmica de preenchimento das fendas acelera a ciclagem de nutrientes e sua troca entre, superfícies e os horizontes subsuperficiais (DERM, 2011).



Legenda: A – Fendilhamento do solo em área com gilgais; B – Ambiente mal drenado com alagamento sazonal; C - Paisagem com gilgais com presença de cascalhos na microdepressão; D – Fenda em área com gilgais recobertos por vegetação; E – Presença de conchas de gastrópode em área com gilgais; F – Estrutura do solo em área com Vertissolo; G – Perfil de um Vertissolo no município de Caicó-RN; H; Arbusto no topo de um micromonte. **Fonte:** Arquivo dos autores (2024).

Figura 3: Representações de feições associadas a áreas com ocorrência de gilgais no semiárido brasileiro.

Os processos (argilopedoturbação, fendilhamento, expansão e contração) e formas (micromontes e microdepressões) associadas a ambientes com gilgais contribuem na alteração da distribuição da umidade no solo, na ciclagem de nutrientes, no crescimento radicular e nas propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos (KOVDA *et al.* 1992; LIMA, 2014). A segregação granulométrica entre os micromontes e microdepressões é relatada em gilgais de ambientes americanos e australianos (BRABANT, 1985; YULE; RITCHIE, 1980).

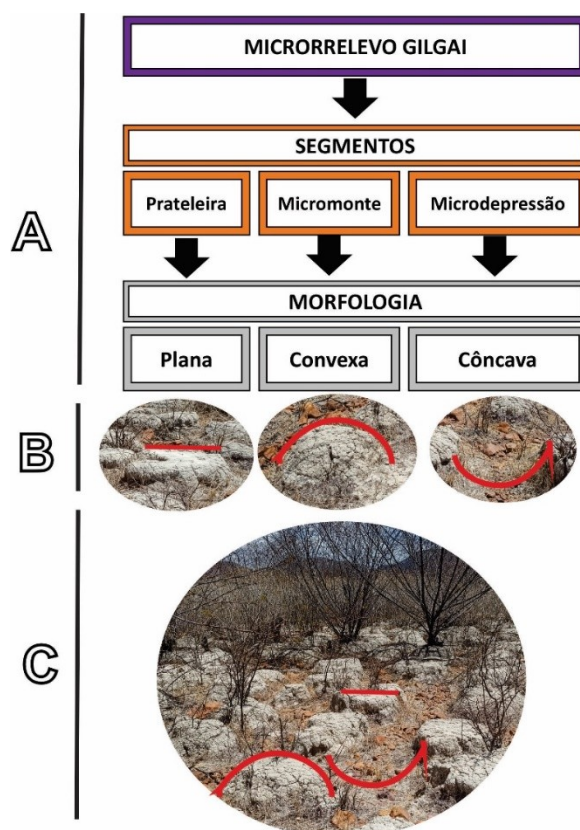
Áreas com gilgais desempenham importante papel ecológico para os ambientes em que se inserem, podendo constituir fonte de recursos hídricos e serem locais de colonização de comunidades da fauna e flora adaptadas às condições de estresse hídrico (MEDEIROS *et al.* 2024). Esses locais também são muito importantes por auxiliarem na regulação do fluxo nas bacias hidrográficas, por sua capacidade de armazenamento (DERM, 2011).

O crescimento vegetal na área de gilgais é influenciado pelo tipo e extensão de forma desenvolvida, pela distribuição, tamanho e dinâmica de abertura das fendas, além da distribuição de água em função do microrrelevo (DERM, 2011). O desenvolvimento radicular das plantas pode ser inibido pelos processos de formação de gilgais, de forma a reduzir a produtividade do solo (AHMAD, *et al.* 2021). Gilgais podem

influenciar na distribuição vegetal, predominando grupos distintos entre os micromontes e microdepressões, onde as plantas xerófitas tendem a ocupar os segmentos mais elevados e as mesófitas as reentrâncias (THOMPSON; BECKMANN, 1982; WONDZELL *et al.* 1990; JOECKEL; HOWARD, 2018).

3.2. Morfologias associadas a microrrelevos gilgais

Gilgais podem possuir distintas morfologias, sendo possível distinguir três segmentos: a prateleira (topo plano), o micromonte (topo convexo) e a microdepressão (côncava) (HOWARD, 1932) (**Figura 4**). Tais segmentos estão atrelados às formas e processos específicos. Segundo Paton (1974), os micromontes estão associados ao soerguimento da superfície como resposta ao reequilíbrio do solo frente aos processos de expansão e contração; a prateleira, provavelmente, está associada a uma etapa anterior à formação do micromonte; em contrapartida, a microdepressão está mais associada à superfície original do solo. No semiárido brasileiro, por vezes, encontra-se pavimentos pedregosos nas microdepressões e a existência de linhas de pedra ao longo dos perfis de solos (**Figura 3**).



Legenda: A – Tipos de segmentos (prateleira, micromonte e microdepressão); B – Detalhamento dos tipos de formas; C – Paisagem com morfologias de gilgais diversas. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024) baseado em Paton (1974).

Figura 4: Representação de morfologias associadas a microrrelevos gilgais.

4. Considerações finais

Microrrelevos estão associados a superfícies com morfologias padronizadas, frequentemente de maneira simétrica, podendo estar associados a distintos ambientes: periglaciais, tropicais úmidos e tropicais semiáridos. Em cada um destes ambientes existe uma combinação de processos que acarretam em morfologias diversas. Em ambientes periglaciais, tem-se predomínio de processos associados à dinâmica do *permafrost* e da camada ativa, com ciclos de congelamento/descongelamento (crioturbação). Em ambientes tropicais úmidos, a ação biológica intensa favorece a gênese de superfícies padronizadas, como murundus e surales, onde destaca-se o processo de bioturbação. Em ambientes tropicais semiáridos, o processo primordial está associado à presença de argilas expansivas de atividade alta, onde destaca-se o processo de argilopdoturbação.

A produção de microtopografia está associada a diversos fatores presentes em distintos ambientes, o que implica na diversidade de gêneses. Variações sazonais de temperatura e umidade são regularmente associadas a construção de alguns microrrelevos. A segregação de partículas é associada a vários ambientes de formação de microrrelevos, como em áreas com *permafrost* (em ambientes periglaciais), em áreas com gilgais em regiões semiáridas e, em alguns casos, associados a murundus.

As paisagens semiáridas com gilgais envolvem uma complexidade de processos pedológicos e geomorfológicos, que, para serem mais bem compreendidos, necessitam de relações interescares, do macro ao micro e vice-versa (escala da paisagem, do perfil e do microscópio). Nos diversos ecossistemas terrestres, a existência de microrrelevos implica em relações ecológicas específicas entre as saliências e reentrâncias, sendo esta uma das características similares entre todas as categorias de microrrelevos.

Agradecimentos

Agradecemos pela colaboração da equipe do GEOPAS/UFRN (Grupo de Estudo em Geomorfologia e Paisagens Semiáridas), pelo apoio nas atividades de campo e na elaboração do trabalho. Agradecemos ao LAGESA/UFRN (Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Aplicada) pela infraestrutura oferecida. Por fim, agradecemos também aos revisores e editores pelas sugestões e melhorias no trabalho

Referências

AHMAD, A.; LOPULISA, C.; JUITA, N.; SURYANIET, I., Gilgai microtopography of soil from carbonate rocks. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 042029.

BAPTISTA, G. M. M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F. Campos de Murundus da Fazenda Água Limpa da UnB: hipóteses de origem. **Revista do CEAM**, v.2, n.1, p.47-60, 2013.

BRABANT, P. Management of vertisols under semi-arid conditions. Proceedings of the international board for soil research and management. **IBSRAM proceedings N**, p. 357, 1985.

CHAN, M.A.; YONKEE, W.A.; NETOFF, D.I.; SEILER, W.M.; FORD, R.L. Polygonal cracks in bedrock on Earth and Mars: Implications for weathering. **Icarus**, 194, 2008. p. 65–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2007.09.026>

DERM. Conceptual Model Case Study Series Gilgai wetlands. **Wetlandinfo**. p.1-12, 2011.

DIXON, J. C. Aridic Soils, Patterned Ground, and Desert Pavements. In: **Geomorphology of Desert Environments**. Eds: Anthony J. Parsons e Athol D. Abrahams. 2nd Edition, Springer, 2009. p. 101-122.

FLORINSKY, I. V.; ARLASHINA, H. A. Quantitative topographic analysis of gilgai soil morphology. **Geoderma**, v. 82, n. 4, p. 359-380, 1998.

FURLEY, P. A. Classification and distribution of murundus in the Cerrado of central Brazil. **Journal of Biogeography**, v.13, n.3, p.265-268, 1986.

HENSLEY, C.D.; BRYE, K.R.; SAVIN, M.C.; WOOD, L.S.; GBUR, E.E. Earthworm differences among mound positions in native prairies in the Ozark Highlands. **Agrosyst Geosci Environ.**, 4: e220150, 2021. <https://doi.org/10.1002/agg220150.20150>

HOWARD, A. Crab-hole, gilgai and self mulching soils of the Murrumbidgee irrigation area. **Pedology**, n. 8, p. 14-16, 1932.

IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 234p.

JOECKEL, R. M.; HOWARD, L. M. The Ups and Downs of Nebraska: Recognizing Gilgai Microrelief in the State. **Great Plains Research**, v. 28, n. 1, p. 51-64, 2018.

- KABALA, C.; PLONKA, T.; PRZEKORA, A. Vertic properties and gilgai-related subsurface features in soils of south-western Poland. **Catena**, v. 128, p. 95-107, 2015.
- KHITROV, N. B. The genesis of vertisols with gilgai microtopography: A review. **Eurasian Soil Science**, v. 49, n. 5, p. 489-497, 2016a.
- KHITROV, N. B. Properties and regimes of vertisols with gilgai microtopography (a review). **Eurasian Soil Science**, v. 49, n. 3, p. 257-271, 2016b.
- KOVDA, I.V.; MORGUN, Y.G.; ALEKSEYEVA, T.V. 1992. Development of gilgai soil cover in central Ciscaucasia. **Eurasian Soil Science**. v. 24, p. 28–45, 1992.
- KRANTZ, W. B. Self-organization manifest as patterned ground in recurrently frozen soils. **Earth-Science Reviews**, v. 29, n. 1-4, p. 117-130, 1990.
- LIMA, G. K. **Caracterização dos Vertissolos do Nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, p. 101, 2014.
- LIMA, T. P. M.; CORRÊA, R. S. Ocorrência de campos de murundus na paisagem do cerrado do Distrito Federal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 536-546, 2021.
- LIRA, D.I.; REIS, J.S.; LOPES, D.V.; SILVA, I.M., Gilgai microrelief morphology in the Caicó–RN region. **International Journal Semiarid**, v. 5, n. 5, 2022.
- LOPES, D.V., **Solos, geomorfologia para-periglacial e ornitogênese na Ilha Snow, Antártica Marítima**. Minas Gerais: Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2020.
- LOPES, D.V.; OLIVEIRA, F.S.; PEREIRA, T.T.C.; SCHAEFER, C.E.G.R., Pedogeomorphology and weathering at Snow Island, Maritime Antarctica. **Catena** 217 (2022) 106515, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106515>
- LOPES, D.V.; OLIVEIRA, F.S.; SCHAEFER, C.E.G.R., Processos pedogeomorfológicos em ambientes periglaciais: o fenômeno patterned ground na Antártica Marítima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 24(3), p.1-14. 2023. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2248>
- LOPES, D. V.; OLIVEIRA, F. S.; SIQUEIRA, R. G.; SOUZA, J. J. L. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R., Paisagens e processos pedogenéticos em distintos ecossistemas terrestres ANTÁRTICOS. **Revista do Departamento de Geografia**, 44, e210645, 2024. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2024.210645>
- LOPEZ-MARTINEZ, J.; SERRANO, E.; SCHMID, T.; MINK, S.; LINÉS, C. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology**, v. 155–156, p. 62–79, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.018>
- MALHEIRO, A. M.; BOEIRA, V. N.; BUENO, G. T.; MANTOVANI, J. R. A. Condicionantes Naturais da Distribuição Espacial dos Campos de Murundus no Sudoeste do Estado de Goiás. **Soc. Nat.**, Uberlândia, MG, v.36, e69038, 2024.
- MANGOLD, N. High latitude patterned grounds on Mars: Classification, distribution and climatic control. **Icarus**, 174(2), 336–359, 2005. doi:10.1016/j.icarus.2004.07.030
- MAXWELL, B. Influence of horizontal stresses on gilgai landforms. **Journal of geotechnical engineering**, v. 120, n. 8, p. 1437-1444, 1994.
- MACKAY, J. R. The origin of hummocks, Western Arctic coast, Canada, **Can. J. Earth Sci.**, 17: 996-1006, 1980.
- MEDEIROS, A. C.; HILÁRIO, D. S.; LIRA, D. I.; LOPES, D. V., Caracterização de um campo de microrrelevos gilgais e análises morfométricas: estudo de caso no município de Caicó – RN. In: LIMA, F. E.

S.; FREIRE, H. P.; FREIRE, Z. B.; FREITAS, C. C. G.; OLIVEIRA, A. M. A. (org.), **Geo-grafias do RN em debate: entre crises, redefinições e olhares sobre o porvir**. XXVII Encontro Estadual de Geografia do Rio Grande do Norte, Assú, RN: Rede Internacional Interdisciplinar de Pesquisadores em Desenvolvimento de Territórios, p. 497 – 508, 2024.

MIJARES, F. J.; BUITRAGO, N. P. Estudio florístico y estructural de un zural boscoso en el municipio de Arauca, Colombia. **Colombia forestal**, v. 22, n. 1, p. 37-50, 2019.

MOREIRA, V. B.; FILHO, A. P. Caracterização Física dos Microrrelevos de Murundus na Chapada Uberlândia-Uberaba/MG: Discussões Preliminares Sobre Gênese. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 227-237, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. The vegetation of Brazilian ‘murundus’ - the island-effect on the plant community. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 4, p. 465-486, 1992a. <https://doi.org/10.1017/S0266467400006817>

OLIVEIRA FILHO, A. T. Floodplain ‘Murundus’ of Central Brazil: evidence for the Termite-Origin Hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, v.8, n.1, p.119, 1992b.

PATON, T. R. Origin and terminology for gilgai in Australia. **Geoderma**, v. 11, n. 3, p. 221-242, 1974.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C, OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., FILHO, J. C. A, OLIVEIRA, J. B., CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa 5, p. 356, 2018.

SANTOS, A. L.; NETO, J. P. S.; NUNES, H. B.; NASCIMENTO, R. R.; SOL, P. J. S. N.; BALISA, B. L.; CRUZ, J. N.; CALIXTO, K. S., Caracterização morfológica e física de solo de uma área com Murundus no oeste da Bahia. **Brazilian Journal of Development**, 6(11), 88997–89011, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-354>

SILVA, L. C. R.; VALE, G. D.; HAIDAR, R. F.; STERNBERG, L. S. L. Deciphering earth mound origins in central Brazil. **Plant and Soil**, v.336, p.3-14, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 13th edition. USDA Natural Resources Conservation Service. 410p, 2022.

THOMPSON, C. H.; BECKHAM, G. G., Gilgai in Australian black earths and some of its effects on plants. **Tropical Agriculture**, v. 59, n. 2, 1982.

WHITE, EVERETT M.; AGNEW, ALLEN F. Contemporary Formation of Patterned Ground by Soils in South Dakota. **Geological Society of America Bulletin**, v. 79, p. 941-944, 1968.

WONDZELL, S. M.; CORNELIUS, J. M.; CUNNINGHAM, G. L. Vegetation patterns, microtopography, and soils on a Chihuahuan desert playa. **Journal of Vegetation Science**, v. 1, n. 3, p. 403-410, 1990.

YULE, D. F.; RITCHIE, J. T. Soil shrinkage relationships of Texas Vertisols: I. Small cores. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 6, p. 1285-1291, 1980.

ZANGERLÉ, A.; RENARD, D.; IRIARTE, J., JIMENEZ, L. E. S.; MONTOYA, K. L. A.; JUILLERET, J.; MCKEY, D., The surales, self-organized earth-mound landscapes made by earthworms in a seasonal tropical wetland. **PLoS One**, v. 11, n. 5, 2016.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.