

RESGATE DE ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS SOBRE O QUATERNÁRIO TARDIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESCUE OF PALEO-ENVIRONMENTAL STUDIES ON THE LATE QUATERNARY IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

RESCATE DE ESTUDIOS PALEO-AMBIENTALES EN EL CUATERNARIO TARDÍO DEL SEMIARIDO BRASILEÑO

LUCAS SUASSUNA DE ALBUQUERQUE WANDERLEY ^{1*}
CAIO LIMA DOS SANTOS ²
OSVALDO GIRÃO DA SILVA³

¹ Professor do Instituto Federal de Alagoas/IFAL. Campus Penedo, CEP: 572000-000, Penedo, Alagoas, Brasil, Tel.: (+55) 82 2126 - 6400, lucassaw.13@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9734-5069>

*Autor correspondente

² Professor do Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Estadual da Paraíba/UEPB. Campus III/Guarabira, CEP: 58800-000, Guarabira, Paraíba, Brasil, Tel.: (+55) 83 3271 - 4080, caiolimago@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6522-2603>

³ Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco/UFPE. Campus Recife, CEP: 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil, Tel.: (+55) 81 2126 - 8000
<https://orcid.org/0000-0002-5797-4450>

Recebido 15/06/2020

Enviado para correção 25/06/2020

Aceito 15/07/2020

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo resgatar resultados de estudos referentes à reconstituição paleoambiental do semiárido brasileiro, visando compor uma evolução temporal dos ciclos de mudanças climáticas e as respectivas respostas na paisagem ocorridas entre o Pleistoceno Superior e Holoceno. Para tanto, foi realizada uma revisão de nove estudos, entre artigos e dissertações, relativos a temática proposta, publicados entre 2007 e 2017, e selecionados a partir de critérios específicos centrados no intervalo temporal proposto. Como resultado, obteve-se um quadro geral das mudanças ambientais processadas na região semiárida do Brasil ocorridas ao longo do período Quaternário Tardio. Constatou-se que os ciclos climáticos orbitais e milenares refletem, para a dinâmica paisagística da região semiárida do Brasil, na predominante ocorrência de climas secos com grau de aridez variável desde o último máximo glacial.

Palavras-chave: Último Máximo Glacial. Paleoambientes Quaternários. Semiárido Brasileiro.

ABSTRACT

This paper aims to rescue the results of studies related to the paleoenvironmental reconstitution of the semi-arid region of Brazil, aiming to compose a temporal evolution of climate change cycles and the respective landscape responses that occurred between the Upper Pleistocene and Holocene. It was done a review of nine studies, including articles and dissertations, related to the proposed theme that were published / finalized between 2007 and 2017. Specific criteria centered on the proposed time interval were used to select the articles. As the result we obtained a general view of the environmental changes processed in the semi-arid region of Brazil that occurred during the late Quaternary period. It was concluded that the orbital and millennial climate cycles result in the predominant occurrence of dry climates with varying aridity degree since the last glacial maximum.

Palavras-chave: Last Glacial Maximum; Quaternary palaeoenvironments; Brazilian Semi-arid.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo recuperar resultados de estudios relacionados con la reconstitución paleoambiental del semiárido brasileño, con el objetivo de componer una evolución temporal de los ciclos de cambio climático y las respectivas respuestas en el paisaje que ocurrieron entre el Pleistoceno superior y el Holoceno. Para ello, se realizó una revisión de nueve estudios, incluyendo artículos y disertaciones, relacionados con la temática propuesta, publicados entre 2007 y 2017, y seleccionados en base a criterios específicos centrados en el intervalo de tiempo propuesto. Como resultado, se obtuvo una imagen general de los cambios ambientales procesados en la región semiárida de Brasil que ocurrieron durante el período Cuaternario Tardío. Se encontró que los ciclos climáticos orbital y milenario reflejan, para la dinámica del paisaje de la región semiárida de Brasil, la ocurrencia predominante de climas secos con grado variable de aridez desde el último máximo glacial.

Palabras clave: Último Máximo Glacial. Paleoambientes cuaternarios. Semiárido brasileño.

INTRODUÇÃO

Os ciclos climáticos, em suas escalas distintas de atuação, podem ser apontados como os principais fatores de transformação das paisagens durante o período Quaternário. Compreender as mudanças ambientais ocorridas no Pleistoceno e Holoceno, consequentes, essencialmente, dos períodos glaciais e interglaciais, é um aspecto-chave para explicar as transformações recentes ocorridas nas diversas unidades de paisagens, bem como para entender a influência dos pulsos climáticos cíclicos sobre a dinâmica processual superficial dos sistemas terrestres (AMORIM; CORREA; SILVA, 2016).

De modo geral, os estudos dos depósitos sedimentares têm sido os recursos mais importantes para o entendimento das mudanças ambientais ocorridas durante o Quaternário Tardio. Técnicas de datação e modelos de formação dos depósitos têm se mostrado como métodos eficientes de analisar os vestígios paleoambientais em diversas paisagens terrestres (CORRÊA *et al.*, 2008).

No semiárido brasileiro, o ritmo climático contemporâneo não é coincidente com a formação de extensos depósitos colúviais ou aluviais, representativos de dinâmicas climáticas e geomorfológicas de um passado recente. Esse fato dificulta a investigação dos vestígios paisagísticos indicadores de processos pretéritos que atuaram na gênese de formas atuais (CORRÊA, 2001).

Entre as alternativas existentes para realização de estudos sedimentológicos no Semiárido Brasileiro estão os depósitos de colúvios em maciços elevados, marmitas (depressões fechadas) e depósitos de leito fluvial. Essas possibilidades analíticas têm contribuído para a reconstrução de paleoambientes recentes da paisagem na Região Nordeste do Brasil, aumentando o conhecimento a respeito das respostas das paisagens às mudanças climáticas durante o Pleistoceno Superior e Holoceno (ALVES, 2007; MUTZENBERG, 2007; SILVA *et al.*, 2017).

A análise das mudanças ambientais durante o período Quaternário aumenta as possibilidades de conhecimento acerca das variações do sistema climático regional e as respectivas respostas da paisagem a essas variações de fluxos energéticos de entrada. Essa perspectiva enfatiza o caráter cíclico dos eventos climáticos e amplia as abordagens teóricas e analíticas dos estudos de mudanças ambientais recentes.

Diante dessas premissas, o presente estudo objetivou resgatar os resultados de estudos de reconstituição paleoambiental do semiárido brasileiro para compor uma evolução temporal dos ciclos de mudanças climáticas e as respectivas respostas das paisagens a essas variações de *inputs* energéticos entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em duas fases. A primeira fase consistiu na busca por artigos que abordassem a reconstituição paleoambiental do semiárido brasileiro a fim de coletar informações para o desenvolvimento da segunda fase do trabalho, durante a qual foi feita uma síntese das principais mudanças ambientais registradas durante o Quaternário Tardio (~100.000 anos A.P.).

A busca pelos estudos foi realizada no período de agosto de 2019, nas bases de dados Google Acadêmico e Science Direct. As estratégias de busca envolveram a associação dos seguintes termos: “Quaternário Tardio”, “reconstrução paleoambiental”, “semiárido brasileiro” e “Nordeste brasileiro” e não foi determinada uma restrição por tempo de publicação. Diante dos resultados das buscas, foram selecionados trabalhos para a leitura do texto completo por meio da análise do título e resumo.

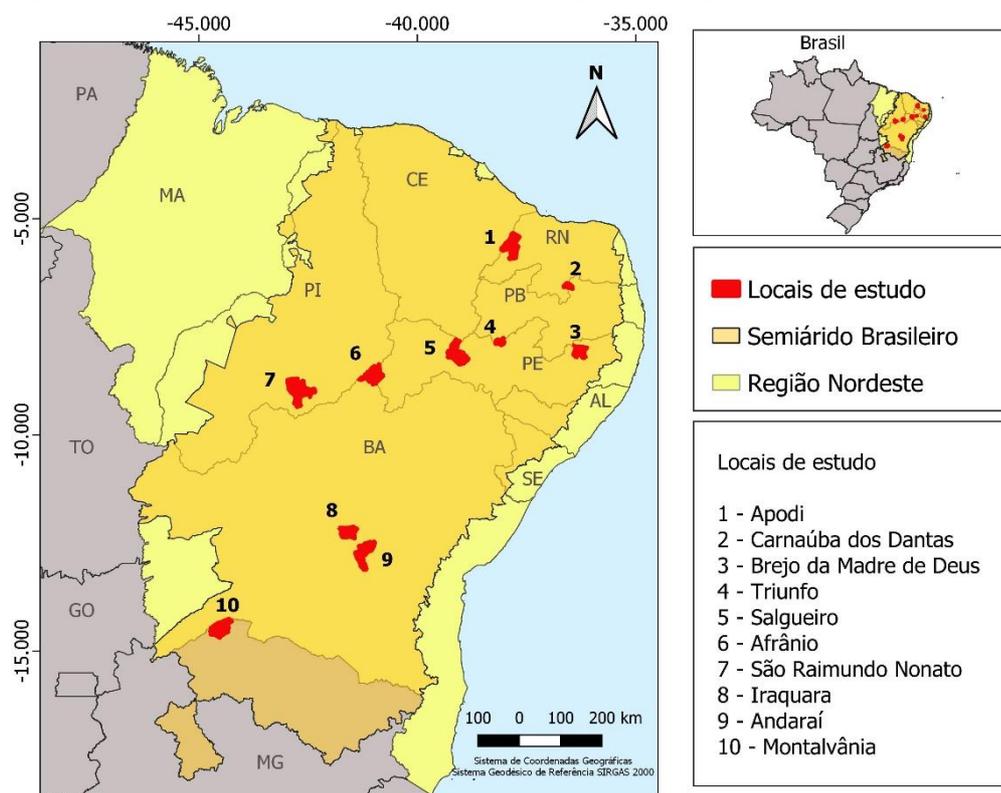
Foram considerados elegíveis para entrar nesta revisão os artigos, resumos expandidos, dissertações ou teses que abordassem a reconstituição dos paleoambientes durante o Quaternário Tardio (Pleistoceno Superior – Holoceno), que utilizaram como metodologia a datação dos depósitos sedimentares ou interpretação de eventos climáticos e geomorfológicos, que possuíam o semiárido brasileiro como área de estudo.

Ainda nessa fase, foi utilizado o *software* QGis (versão 3.4.5) para elaborar um mapa dos locais dos estudos, a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Superintendência de Desenvolvimento da Região Nordeste (SUDENE). Ademais, as principais características dos estudos encontrados foram organizadas em um quadro.

A segunda fase compreendeu a análise das características dos ambientes sedimentares dos estudos e a síntese dos achados sobre as principais mudanças ocorridas durante o Quaternário Tardio. Esta foi realizada por meio da sistematização dos principais resultados obtidos nos trabalhos, que envolveu a conexão de dados sobre a evolução das paisagens do semiárido brasileiro.

As áreas de estudo dos artigos foram compiladas em um mapa que compreende a região do Semiárido Brasileiro (Figura 1) e os artigos utilizados na revisão proposta para o presente estudo e suas principais características estão apresentadas no Quadro 1.

Figura 01 - Localização das áreas de estudos dos artigos/dissertações no Semiárido Brasileiro.



Quadro 01 - principais características dos artigos e dissertações utilizados na descrição dos paleoambientes do Semiárido Brasileiro.

Trabalho	Plataforma	Ambiente de sedimentação	Localização das áreas de estudo	Métodos utilizados	Escala temporal
Alves (2007)	Dissertação de mestrado (repositório UFPE)	Marmitas	Brejo da Madre de Deus-PE	Datações LOE e 14C, análise sedimentológica	Pleistoceno Superior-Holoceno
Mutzenberg (2007)	Dissertação de mestrado (Repositório UFPE)	Leito e planície fluvial	Carnaúba dos Dantas-RN	Datação LOE, datação 14 C, análise sedimentológica	Pleistoceno Superior-Holoceno
Corrêa (2008)	Revista Mercator	Encosta	Santa Cruz da Baixa Verde-PE, Brejo da Madre de Deus-PE e Triunfo-PE	Datação LOE, análise sedimentológica	Pleistoceno Superior-Holoceno
Cruz <i>et al.</i> (2009)	Revista Nature Geoscience	Espeleotema	Furna Nova, Apodi-RN	Análise isotópica do oxigênio, datação U-Th	Pleistoceno Superior-Holoceno
Barreto (2010)	Dissertação de Mestrado (USP)	Espeleotema	Iraquara e Andaraí -BA	Análise isotópica do oxigênio, datação U-Th	Pleistoceno-Holoceno
Strínkis (2011)	Dissertação de Mestrado (USP)	Espeleotema	Luislândia e Montalvânia - MG	Análise isotópica do oxigênio, datação U-Th	Pleistoceno-Holoceno
Mutzenberg <i>et al.</i> (2013)	Revista Fundamentos	Lago	Salgueiro-PE	Análise sedimentológica, datação LOE, análise isotópica do oxigênio	Pleistoceno Superior-Holoceno
Silva <i>et al.</i> (2017)	Revista Brasileira de Geomorfologia	Marmita	Distrito de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus-PE	Datação LOE, reconstrução qualitativa dos cenários geomofológicos no preenchimento de marmitas	Pleistoceno Superior-Holoceno
Silva <i>et al.</i> (2017)	XI SINAGEO (XI Simpósio Nacional de Geomorfologia)	Marmita, lago e encosta	Salgueiro-PE, Afrânio-PE, São Raimundo Nonato-PI, Brejo da Madre de Deus-PE	Análise isotópica do oxigênio, interpretação sedimentológica	Pleistoceno Superior-Holoceno

Fonte: Organizado pelos autores.

RESULTADOS

Análise das características dos ambientes sedimentares

Contexto ambiental das marmitas e a caracterização de paleoambientes quaternários do Nordeste brasileiro

No Nordeste Brasileiro, as marmitas, também chamadas de poços, tanques e caldeirões, são depressões fechadas formadas sobre rochas de geologia cristalina. Tais feições encontram-se preenchidas por sedimentos que têm sido utilizados para identificação de eventos climáticos – geomorfológicos pretéritos (SILVA *et al.*, 2017). Apesar de serem comumente associadas a climas secos, essas feições estão presentes sob ação de diversos contextos climáticos (CAMPBELL, 1997; ROMAÍ; RODRIGUEZ, 2007; SILVA *et al.*, 2017).

Os estudos a respeito da gênese das marmitas apontam que essas depressões rochosas possuem sua origem relacionada a processos tectônicos e de dissolução rochosa. No contexto tectônico de formação, os falhamentos alteram o grau de resistência das rochas, favorecendo a alteração química sobre as superfícies com diferenciação estrutural (VIDAL ROMANÍ; RODRIGUEZ, 2007; BIGARELLA; BECKER; DOS SANTOS, 1994).

Na região Nordeste do Brasil, o preenchimento das marmitas parece ter sido mais frequente a partir do final do Pleistoceno, com continuidade durante o Holoceno (SILVA *et al.*, 2017). Esses períodos de deposição atestam rupturas na paisagem decorrentes de mudanças climáticas registradas entre o Pleistoceno Superior, Holoceno Inferior, Médio e Superior. Entre os registros encontrados nos depósitos do final do Pleistoceno, está marcada a transição de um ambiente subúmido de savanas, onde viviam os grandes mamíferos da megafauna, para ambientes secos, com extinção de grande parte desses mamíferos (BIGARELLA; BECKER; DOS SANTOS, 1994).

Bergqvist e Almeida (2004), ao investigarem os depósitos de marmitas, verificaram que esses depósitos estão associados a vários mecanismos de deposição. De maneira geral, observaram a existência de três níveis de sedimentação, com localização preferencial dos fósseis da megafauna em uma camada intermediária de textura areno-conglomerática.

Os estudos estratigráficos têm demonstrado que os depósitos de marmitas foram preenchidos por sedimentos transportados por movimentos de massa (fluxos gravitacionais), em decorrência de eventos torrenciais de alta magnitude em contextos climáticos variados. No caso dos sedimentos de tanque, são observadas composições de areias quatzozas e sedimentos finos sílicos ou argilosos (SILVA *et al.*, 2017). Nesse contexto, os principais processos associados a fluxos gravitacionais em ambientes semiáridos ou subúmidos podem ser os fluxos de detritos ou corridas de lama (SILVA *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2007). Esses movimentos de massa podem ser classificados pelo tamanho dos materiais depositados e pela escala de abrangência dos eventos (SUGUIO, 2003).

Essas constatações atestam a importância dos depósitos de marmitas na reconstrução paleoambiental recente. Os estudos recentes de interpretação dos mecanismos de transporte, a datação das camadas de sedimentos (inclusive de fósseis) e estimativas de paleotemperaturas em camadas de calcretes (carbonato de cálcio) permitem avanços significativos a respeito das mudanças ambientais ocorridas durante o período Quaternário.

Relevância dos depósitos de encosta para o resgate paleoambiental do Nordeste brasileiro

Os depósitos de colúvio resultam de mudanças climáticas em diferentes escalas (temporais e de intensidade), representando o momento de ruptura da estabilidade do relevo. No contexto semiárido, a ocorrência de tais depósitos está geralmente associada aos brejos de altitude e áreas expostas, como topos, vertentes a barlavento, sopés, piemontes e vales elevados dos maciços e relevos residuais, que por sua vez estão expostas a atuação de correntes atmosféricas úmidas (CORRÊA *et al.*, 2008). Com base na análise sedimentológica e na cronologia dos depósitos é possível aventar distintas fases e ciclos climáticos, bem como distinguir a atuação de diferentes sistemas climáticos no processo de modelagem da paisagem e, por conseguinte, sobre os processos e formas geomorfológicas.

O período compreendido entre 40 a 13 Ka A.P. concentra a maior parte das idades datadas em depósitos no ambiente semiárido nordestino, coincidindo com final do interestadial e o Último Máximo Glacial (UMG) (LIMA, 2015). Nesse período, predominava um clima mais seco e frio, com temperaturas baixadas em relação as atuais, entorno de 6°C, marcadas por intensas chuvas provocadas pela entrada de ar polar em baixas latitudes, resultando na mobilização de sedimentos de encosta, em momentos de ocorrência de *inputs* climáticos decorrentes de chuvas torrenciais (LIMA, 2015).

No período estabelecido entre o UMG e a transição entre o Pleistoceno e o Holoceno observou-se um momento de reorganização da paisagem no Nordeste brasileiro (CÔRREA *et al.*, 2008), marcado pelo aumento da temperatura global e por alta pluviosidade (AMORIM, 2015), produzindo depósitos de colúvio em escala regional, identificados por Corrêa (2001), Corrêa, Silva e Melo (2008), Mützenberg (2010), Tavares (2015), Lima (2015) e Amorim (2015).

Os registros de sedimentos de encosta datados por Lima (2015) representam um momento em que o setor subúmido N/NE da Chapada do Araripe foi submetida a ocorrência de elevados níveis de precipitação, acompanhada pelo estabelecimento de uma cobertura vegetal mais densa, durante a transição do Pleistoceno/Holoceno. Esse aspecto representa uma brusca mudança ambiental, confirmada pela deposição de fluxo de detritos característico de alta energia e fluxos de lama.

A produção de depósitos de encostas não está vinculada apenas a mudanças no padrão climático, como a transição de clima seco para úmido, por exemplo. Variações climáticas de menor escala de tempo e intensidade, como também os fatores locais, são elementos que potencializam ou até mesmo anulam os “gatilhos” climáticos atuantes. Corrêa, Silva e Melo (2008) chama a atenção para os eventos de menor intensidade, mas que apresentam maior recorrência. Amorim (2015) identifica depósitos provenientes do aumento de temperatura no final do *Younger Dryas*, associado a fatores de escala regional e local, como a fase fria Paleo-ENOS e o relevo característico das áreas de brejo, que por seu turno, propiciaram as condições necessárias para a produção de um manto de intemperismo e sua conseqüente remobilização.

Outras formações coluviais identificadas por Corrêa (2001), no Maciço da Serra da Baixa Verde, no estado de Pernambuco; Mützenberg (2010) na Serra da Capivara, no estado do Piauí; Silva (2007) em Brejo da Madre de Deus, estado de Pernambuco; e eólicas identificadas por Lira (2014) na região do médio São Francisco, são correlatas a períodos relacionados a variações climáticas de menor escala temporal ocorridas no entre o UMG e o Holoceno (AMORIM, 2015). Outro fato que comprova tal assertiva, está na contemporaneidade da formação de depósitos de calcrete e encosta, datadas por Mützenberg *et al.* (2013) durante o Holoceno inferior, indicando a ocorrência de eventos climáticos extremos, alternando períodos de seca prolongadas e episódios pluviais torrenciais.

De modo contrário, Lima (2015) afirma não haver registros de remobilização extensiva dos depósitos de tálus e da cobertura pedológica por movimento de massa de alta energia nos últimos 8.000 anos A.P., no setor subúmido N/NE da Chapada do Araripe. A sedimentação de encosta não ultrapassa o Holoceno Inferior para a área em questão. Esse aspecto pode estar vinculado, segundo a autora, a duas hipóteses: a remobilização e deposição do material mais recente que recobriam as encostas ao longo do Holoceno, fornecendo assim material para a formação das planícies atuais; ou a ocorrência de um longo período em que as condições climáticas não conseguiram romper a estabilidade pedológica.

O aspecto morfológico também exerce papel importante na produção do colúvio (CORRÊA; SILVA; MELO, 2008). As diferenças estratigráficas observadas pelos referidos autores entre os depósitos estudados na Serra da Baixa Verde e em Brejo da Madre de Deus, atestam que o mesmo evento formativo significou diferentes processos de deposição, uma vez

que as duas áreas estão expostas de modo diferente aos agentes modeladores do relevo. Esse aspecto relaciona-se a atuação de fatores de escala local, como a maior ou menor exposição do relevo a atuação da umidade, bem como representa o comportamento de fatores que atuam em escala regional, como é o caso dos mecanismos climáticos de mesoescala.

Amorim (2015) observa que a formação de colúvios no Maciço Serra da Baixa Verde está relacionada, em alguns casos, ao fato do maciço estar localizado em uma área de brejo de altitude, não sendo possível encontrar correlatos em outras áreas de menor umidade. Em alguns casos, os depósitos correlatos representam a formação de sedimentação eólica vinculada a um momento de maior aridez, como é o caso dos depósitos correlatos de origem aluvial identificados por Mützenberg (2010) na Serra da Capivara, no estado do Piauí, e por Lira (2014) no médio São Francisco, no estado de Pernambuco.

A interpretação paleoambiental realizada por Mützenberg *et al.* (2013) na lagoa do Uri, município de Salgueiro no estado de Pernambuco, aponta para a ocorrência contínua de climas semiáridos em variados níveis de severidade durante o último stadial. Esse aspecto confirma a assertiva acerca da atuação de mecanismos e características ambientais de escala regional e local na configuração paleoambiental do Nordeste brasileiro.

Por fim, as atividades humanas também são responsáveis pela produção de sedimentos de encostas, sendo possível registrar diferentes momentos de alteração da cobertura superficial terrestre. Corrêa *et al.* (2008) identifica uma camada de material laminada, representando a ocorrência de eventos extremamente chuvosos, com idade próxima aos últimos 90 anos.

A deposição coluvial resulta da atuação de fatores superficiais em diferentes escalas temporais e de intensidade, como resposta as alterações ambientais processadas ao longo da história do planeta, verificadas a partir da análise sedimentológica e cronológica, sendo possível reconstituir os paleoambientes predominantes em diferentes períodos geológicos.

Utilização de depósitos em espeleotemas na reconstrução paleopluviométrica do semiárido brasileiro

Os depósitos minerais em espeleotemas são formados a partir da precipitação química no ambiente de cavernas. Estas estruturas, formadas predominantemente por carbonato de cálcio, têm sido apontadas como importante fonte de informação a respeito das variações pleoclimáticas, podendo ser datadas pelo método urânio – tório (U-Th) (BARRETO, 2010).

A razão isotópica do oxigênio dezoito ($\delta^{18}O$) e dezesseis ($\delta^{16}O$), presente nos depósitos de espeleotemas, tem sido utilizada para a reconstrução de paleopluviometrias em ambientes tropicais ao longo do período Quaternário, pois fornece um indicativo do ciclo hidrológico nos ecossistemas. As evidências apontam que os registros de valores de $\delta^{18}O$ máximos (mínimos) de fracionamento isotópico estão relacionados a eventos secos (úmidos) no semiárido brasileiro (STRÍNKIS, 2011). Nesse sentido, a composição isotópica da chuva nos ambientes tropicais e subtropicais apresenta relação com o regime pluviométrico, ocorrendo uma correlação negativa entre o $\delta^{18}O$ (presente na chuva) e a quantidade de precipitação registrada nos ecossistemas. Por esta razão, os estudos paleoclimáticos a partir de espeleotemas têm focado nos registros de $\delta^{18}O$ (BARRETO, 2010).

Os estudos de reconstituição paleopluviométrica a partir de espeleotemas são frequentemente relacionados aos ciclos descritos na literatura a respeito das mudanças climáticas durante o período Quaternário (DANSGAARD *et al.*, 1993). Entre as mudanças climáticas, destacam-se aquelas decorrentes dos ciclos orbitais, como a precessão (com ciclo de 23 mil anos), e aquelas decorrentes de eventos milenares (a cada 1,5 a 3 mil anos) a exemplo dos eventos Heinrich, Younger Dryas e Dansgaard-Oeschger (WANG *et al.*, 2008).

As mudanças climáticas desencadeadas por ciclos orbitais, a exemplos dos ciclos de Milankovitch, são consequência da variação de radiação que atinge o topo da atmosfera do planeta. Já as mudanças climáticas milenares nos trópicos do continente sul americano têm sido atribuídas a mudanças de circulação no oceano Atlântico associadas a um ajuste do gradiente térmico inter-hemisférico. Nesse contexto, as mudanças nos regimes pluviométricos teriam “gatilho” associado às interações entre o oceano e a atmosfera. Na Região Nordeste, os ciclos milenares dos eventos Heinrich e Dansgaard-Oeschger têm refletido em mudanças deposicionais nos espeleotemas (BARRETO, 2010). Mudanças climáticas abruptas têm sido registradas como resposta a condições mais frias (Heinrich) e mais quentes (Dansgaard-Oeschger) no Hemisfério Norte. Os eventos frios no hemisfério setentrional têm sido apontados como desencadeadores dos eventos úmidos abruptos durante o Quaternário no semiárido brasileiro, enquanto que os eventos quentes ao norte do equador como condicionadores de climas milenares secos (BAKER *et al.*, 2001; CRUZ *et al.*, 2009; BARRETO, 2010).

Estudos com base na deposição dos isótopos $\delta^{18}O$ em espeleotemas têm constatado que as variações nos regimes de precipitação na América do Sul tropical não ocorrem de maneira homogênea durante as mudanças climáticas decorrentes de ciclos orbitais. Durante o Quaternário, as mudanças climáticas decorrentes dos ciclos orbitais, que favorecem aumento da precipitação na região Nordeste do Brasil, têm sido correspondentes a ciclos secos no norte da Bacia Amazônica e no centro sul do continente, denotando um comportamento antifásico de ciclos úmidos e secos entre essas regiões. Esse mecanismo considera que um mínimo (máximo) de insolação de verão está relacionado a um aumento (diminuição) da disponibilidade das chuvas sobre o Nordeste brasileiro, com comportamento inverso no restante da América do Sul tropical. A máxima insolação de verão estaria associada a uma intensificação do regime monçônico sobre o continente sul americano, e a um aumento da subsidência sobre o Semiárido brasileiro. De modo oposto, a diminuição da insolação estaria relacionada a um enfraquecimento do regime monçônico, com aumento da disponibilidade das chuvas no semiárido brasileiro a partir do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical para posições mais austrais (CRUZ, *et al.*, 2009; BARRETO, 2010).

As mudanças climáticas, em escalas orbitais, sobre o semiárido brasileiro têm apresentado comportamento em fase com regimes pluviométricos de regiões tropicais ou subtropicais inter-hemisféricas. Esse fato corrobora com o fato de que as mudanças climáticas de longa escala na região tropical do planeta possuem forte relação com intensificação ou desintensificação dos regimes monçônicos, por consequência de aumento ou diminuição da insolação sobre o topo da atmosfera terrestre, provocando mudanças na circulação zonal sobre os trópicos. Na América do Sul, o regime das monções é representado pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sendo esse sistema atmosférico responsável pelo transporte de umidade da Amazônia ocidental em direção ao centro sul do continente. Essa circulação atmosférica se intensifica nos episódios de mais intensa insolação de verão (CRUZ, *et al.*, 2009; BARRETO, 2010).

Deste modo, as mudanças climáticas influenciadas por ciclos orbitais sobre o América do Sul tropical e subtropical estariam associadas a mudanças de intensidade nas conexões zonais entre a divergência em altitude sobre a bacia Amazônica, e a região andina, com o cavado em altitude sobre a região Nordeste, especialmente durante o verão austral. Portanto, essas mudanças climáticas de longa escala estariam associadas a variações de equilíbrio entre os gradientes térmicos e barométricos dos continentes e dos oceanos. As principais evidências, a partir das composições isotópicas em espeleotemas, apontam que a variação do gradiente sazonal térmico e barométrico (entre continentes e oceano), ao longo dos ciclos orbitais, pode ter sido impulsionada ora pela variação da insolação no topo da atmosfera terrestre, ora pela

expansão das geleiras, nos episódios de máximos glaciais, para mais baixas latitudes (CRUZ *et al.*, 2009; BARRETO, 2010; STRÍNKIS, 2011).

As mudanças climáticas milenares têm sido marcadas por variações abruptas na composição isotópica dos espeleotemas. Eventos mais frios ou mais quentes no Hemisfério Norte têm sido relacionados a variações climáticas como resposta a mudanças no grande térmico inter-hemisférico sobre o oceano Atlântico. Durante as mudanças climáticas milenares, são reportadas mudanças em fase entre os regimes pluviométricos do semiárido brasileiro com a bacia amazônica e o centro-sul do país, e mudanças antifásicas nos regimes pluviométricos tropicais inter-hemisféricos. As variações mais bruscas associadas aos eventos de periodicidade milenar parecem estar relacionadas a deslocamento da célula de Hadley entre os hemisférios planetários como resposta a mudanças nas correntes do Atlântico (CRUZ *et al.*, 2009; BARRETO, 2010; STRÍNKIS, 2011).

A sistematização das informações de registro isotópico do oxigênio em espeleotemas, na região tropical, tem se mostrado como um dos principais métodos de reconstrução dos regimes de paleoprecipitação. Através desta abordagem metodológica tem sido possível estabelecer relação entre mudanças climáticas registradas em áreas distantes e, com auxílio de modelos climáticos capazes de simular mudanças na circulação atmosférica, estudos paleoclimáticos apresentam modelos atmosféricos cada vez mais claros acerca das mudanças climáticas durante o período Quaternário.

Caracterização dos paleoambientes do semiárido brasileiro

Os estudos a respeito dos paleoambientes do Quaternário Tardio no semiárido do brasileiro evidenciam que as paisagens sofreram modificações importantes durante os 60 Ka A.P. O principal “gatilho” dessa dinâmica ambiental são as mudanças climáticas características das fases estadiais e interestadiais (CORRÊA *et al.*, 2008; MUTZENBERG *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2017).

O período compreendido entre 63 Ka A.P. e 60 Ka A.P. no penúltimo estadal, parece estar associado a um clima associada a eventos climáticos de elevada energia sobre parte do semiárido brasileiro (SILVA *et al.*, 2017). A cobertura vegetal predominante de plantas com metabolismo do tipo C3¹, evidenciada por Alves (2007) no distrito de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus - PE, e a existência dos grandes mamíferos da megafauna sugerem a existência de um bioma de savanas sujeito a eventos sazonais convectivos de alta magnitude. Corrêa *et al.* (2008) descrevem um depósito de colúvio composto por areia grossa, com idade de 60,5 Ka, evidenciando a ocorrência de um único evento de alta magnitude em Brejo da Madre de Deus - PE. Para este autor, tal evento pode estar relacionado a uma fase de reumidificação no Pleistoceno Superior, corroborando os resultados de Alves (2007).

Vestígios do penúltimo estadal estão evidenciados nos registros da marmita de Icó, localizada no distrito de Fazenda Nova - PE. Silva *et al.* (2017) sugerem que sedimentos cascalhentos basais, datados em 58,9 Ka A.P., foram depositados no fundo da marmita por eventos de alta magnitude em uma paisagem formada sob atuação de um clima seco. Nesse contexto, a remobilização das coberturas residuais do entorno da marmita ocorreu provavelmente por fluxos de detritos de alta energia.

Evidências de uma fase mais úmida entre 68 Ka a 57 Ka A.P. são apresentadas por Barreto (2010), a partir da datação de depósitos dos isótopos de oxigênio em espeleotemas da

¹ As plantas de metabolismo C3 prosperam com água abundante no solo, ou seja, ocorrem em áreas mais úmidas. As plantas de metabolismo C4 ou do tipo CAM possuem adaptações que as permite sobreviver em ambientes com deficiência hídrica (ALVES, 2007).

Chapada Diamantina (região central da Bahia). Uma fase de climas mais frios e de maior disponibilidade hídrica foi estabelecida no referido período. A variação da insolação foi apontada como principal forçante das mudanças climáticas durante o período compreendido entre 93 Ka e 47 Ka AP, inserido na primeira fase da glaciação. Durante este intervalo de tempo, as menores intensidades da taxa de insolação no verão foram relacionadas a episódio de climas mais úmidos sobre a região central da Bahia, como consequência do enfraquecimento do regime de monção no continente sul americano. Esse mecanismo teria favorecido a convergência em baixos níveis sobre o semiárido brasileiro.

Alves (2007) já havia destacado que o intervalo compreendido entre 58,9 Ka A.P. e 45 Ka AP foi o provável período para a extinção dos mamíferos da megafauna pleistocênica na região de Fazenda Nova - PE. Essa hipótese está baseada na disposição e idade dos fósseis encontrados na marmita de Icó, cimentados por uma camada de carbonato de cálcio (associado a ambientes evaporíticos).

As mudanças climáticas ocorridas neste período modificaram a paisagem da região de Fazenda Nova - PE, com estabelecimento de uma mata seca semelhante à composição atual da caatinga há 45 Ka AP, onde havia um consórcio de plantas de metabolismo C3 e CAM. Essa mudança ambiental entre 60 Ka AP e 45 Ka AP foi apontada por Alves (2007) como principal causa para extinção da megafauna na região.

Os resultados apresentados por Barreto (2010) corroboram o estabelecimento de clima seco sobre a região central da Bahia entre 57 Ka e 47 Ka AP, em um período de maior insolação de verão e reestabelecimento de uma forte circulação zonal do regime monçônico na América do Sul.

Entre 45 Ka AP e 35 Ka AP são encontrados poucos vestígios de mudanças significativas nas paisagens do semiárido brasileiro. O estudo realizado por Mutzenberg *et al.* (2013), na Lagoa Uri, município de Salgueiro - PE, sugere que há 34,6 Ka AP a região estava sob domínio de condições semiáridas de alta energia, evidenciadas em depósitos de cascalheira grossa. Para esses autores, o tipo de sedimento correlativo a essa idade sugere a ocorrência de um depósito de tálus, cuja origem está relacionada à presença de blocos desprendidos da rocha matriz sobre níveis próximos mais elevados. Um clima seco marcado por eventos climáticos convectivos de alta energia também é evidenciado pelos resultados de Corrêa *et al.* (2008) em colúvio localizado no Maciço da Baixa Verde, estado de Pernambuco, datado em 20,4 Ka AP. Essa composição ambiental está vinculada ao estabelecimento de um clima semiárido severo no UMG.

A condição de semiaridez severa no último stadial é também evidenciada pelas camadas de calcrete (carbonato de cálcio) sedimentadas em marmitas de Icó (distrito de Fazenda Nova - PE), Lagoa do Caboclo (Afrânio - PE) e no Morro do Garrincho (São Raimundo Nonato - PI). A formação de cimento carbonático ocorre sob condições evaporíticas (climas secos) em áreas continentais e sugerem existência de aridez acentuada.

Silva *et al.* (2017) e Alves *et al.* (2007) estimaram, em seus estudos, as peletotemperaturas pelos isótopos de oxigênio, sendo encontrados para a marmita de Icó (Fazenda Nova - PE) uma paleotemperatura de 18,7°C datada em 19,4 Ka AP, e na lagoa de Afrânio-PE uma temperatura de 18,4 °C para o período de 17,1 Ka AP. Essas informações sugerem que durante o UMG houve uma estabilização regional da paisagem sob domínio de temperaturas menos quentes que as atuais (fase fria) e de semiaridez severa (SILVA *et al.*, 2017).

O período que compreendeu a segunda fase glacial entre 45 Ka e 20 Ka AP foi caracterizado por clima seco, em ambiente de menor taxa de insolação de verão, contrastando com a tendência observada durante todo o Quaternário Tardio, no que se refere às mudanças climáticas em escala orbital. A atuação de outras forçantes climáticas é apontada como causa

para estabelecimento de um clima seco em condições de mais baixas taxas de insolação. A principal hipótese apresentada é que a expansão das camadas de gelo oceânicas para latitudes mais baixas ocasionou um aumento do gradiente térmico e barométrico entre o oceano Atlântico e o continente sul americano. Esse mecanismo fortaleceu o regime de monções sobre as demais áreas da América do Sul tropical e subtropical, e intensificou o cavado de nordeste em altitude, contribuindo para o estabelecimento de um clima mais seco sobre o semiárido brasileiro (BARRETO, 2010).

Registros isotópicos de oxigênio no norte de Minas Gerais (municípios de Luislândia e Montalvânia) para o período glacial, compreendido entre 28 Ka AP e 19 Ka AP, também apontam para o estabelecimento de um clima relativamente seco, em contraste com climas úmidos na região sudeste do país e no setor tropical do planalto andino. Este comportamento antifásico com o clima da América do Sul tropical sugere que houve durante o período glacial uma migração para sudoeste da Zona de Convergência do Atlântico Sul e, conseqüentemente, da região de máxima precipitação da monção sul americana. Ademais, é reforçado o controle climático do norte de Minas Gerais em consonância com o clima do semiárido brasileiro desde o UMG (STRÍNKIS, 2011).

A transição Pleistoceno/ Holoceno é marcada por um aumento de umidade em relação à fase fria e seca observada no último stadial. Mutzenberg (2007) associou depósitos de enchente no rio Carnaúba - RN a um aumento da energia entre 11,1 Ka e 9,1 Ka AP. Na Serra da Baixa Verde - PE, Corrêa *et al.* (2008) identificou depósitos de encosta associados a prováveis corridas de lama no limite Pleistoceno/Holoceno. Há de se evidenciar, todavia, que o aumento da energia de transporte não implica, necessariamente, na ocorrência de precipitações bem distribuídas do ponto de vista regional.

Destaca-se que o final do último stadial e a transição para o Holoceno foram marcados pela ocorrência de ciclos climáticos de escala milenar associados ao aumento da umidade entre os intervalos 25,5 a 24 Ka AP, 17,9 a 15,5 Ka AP e 13,5 a 10,9 Ka AP, relacionados a eventos Heinrich no Hemisfério Norte. Tais episódios são caracterizados por estabelecimento de climas mais frios no hemisfério setentrional, possibilitando a intensificação de um gradiente térmico inter-hemisférico. Estas condições atmosféricas favorecem uma atuação mais austral da Zona de Convergência Intertropical, favorecendo maior transporte de umidade para o semiárido brasileiro (BARRETO, 2010).

Condições climáticas mais úmidas no período deglacial entre o Holoceno Inferior e Médio também foram constatadas nos estudos de Cruz *et al.* (2009) na região oeste do estado do Rio Grande do Norte. Foi verificada uma menor concentração de isótopos $\delta^{18}O$ entre 10,5 Ka AP e 5 Ka AP, em condições de baixa insolação de verão e climas mais úmidos que os atuais. Sincronicamente, na região da Chapada Diamantina a concentração isotópica do oxigênio também demonstrou a ocorrência de clima mais úmido nos intervalos entre 17 Ka AP a 15 Ka e entre 13 Ka a 5 Ka AP (BARRETO, 2010).

No norte do estado de Minas Gerais foram registrados eventos mais longos e abruptos de precipitação durante o Holoceno inferior e médio, e a partir do Holoceno inferior esses eventos tornaram-se mais raros. O estabelecimento de climas mais secos a partir dos 5 Ka AP pode estar relacionado a uma diminuição da cobertura de gelo no Hemisfério Norte, estabelecendo um novo gradiente térmico inter-hemisférico e desarticulando a corrente termohalina do Atlântico que estava associada a climas mais úmidos sobre o semiárido brasileiro (STRÍNKIS, 2011).

Um evento de escalar milenar associado ao estabelecimento de um clima seco foi constatado dos depósitos de espeleotemas da Chapada Diamantina (entre 15,5 Ka AP e 13,5 Ka AP) e Rio Grande do Norte (entre 15,1 Ka AP e 13,2 Ka AP). Os climas secos registrados nesse intervalo foram possivelmente desencadeados por um evento Bolling-Allerod, o qual é marcado

por um aumento das temperaturas no Hemisfério Norte. Nesse caso, o gradiente inter-hemisférico favorece o posicionamento de ZCIT em latitudes setentrionais e diminui a intensidade do período chuvoso (CRUZ *et al.*, 2009; BARRETO, 2010).

Para a lagoa do Uri (Salgueiro - PE) foram encontrados depósitos de calcetes datados em 9,9 Ka AP, apontando para a permanência da condição de semiaridez mais severa que a atual sobre essa área durante o Holoceno Inferior. O predomínio de matriz areno-argilosa, e a retenção dos clastos maiores, para esse nível de sedimentação pode ser interpretado como um ambiente sob condições torrenciais intercaladas por secas prolongadas, e com recuperação gradual da cobertura vegetal (MUTZENBERG, 2013).

O reestabelecimento da vegetação é interpretado por Mutzenberg (2007) em depósitos de enchente no Holoceno médio (5,5 Ka AP) no vale do rio Carnaúba e por Mutzenberg (2013), na lagoa do Uri (Salgueiro - PE). A partir do Holoceno Médio, os estudos corroboram o estabelecimento de um clima semiárido semelhante ao atual, com eventos pluviométricos de alta energia intercalados por longos períodos de estiagem, provavelmente relacionados aos eventos ENOS. De modo consonante, a partir de 5 Ka AP, foram observadas condições de climas semiáridos com estabilização do regime pluvial até os dias atuais na região da Chapada Diamantina e no Rio Grande do Norte (CRUZ *et al.*, 2009; BARRETO, 2010)

O Quadro 2 constitui-se em uma síntese que apresenta as principais concordâncias observadas entre os estudos investigados. A sequência de mudanças ambientais apresentada reforça o fato de que a dinâmica climática do Quaternário Tardio é controlada pelos períodos estadiais e interestadiais. Os vestígios reunidos apontam que, desde o UMG, o semiárido brasileiro vem sendo sujeitado a controles climáticos predominante de climas secos, intercalados por menores episódios úmidos de maior energia ao longo dos últimos 60 Ka AP.

Quadro 2 - Síntese dos principais eventos referentes a evolução das paisagens da região semiárida do Brasil entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno Médio.

Épocas	Mudanças ambientais
Pleistoceno Superior	Entrada no UMG e estabelecimento de um clima semiárido severo. Extinção da megafauna. Estabilização da paisagem com período de deposição esporádica ou não deposição.
Holoceno Inferior	Entrada no presente interestadial com aumento da umidade. Para o Semiárido Brasileiro foi constatado um aumento da energia de deposição em decorrência de eventos pluviométricos convectivos de alta energia, intercalados por períodos de seca. Restabelecimento gradual da vegetação.
Holoceno Médio	A partir de então pode ser evidenciada uma maior estabilização regional da paisagem para uma condição de semiaridez semelhante a atual, controlada pelos ciclos dos ENOS. Estabelecimento de vegetação semelhante à Caatinga atual.
Holoceno Superior	Os vestígios demonstram perfis estratigráficos biopertubados, denotando interferência das atividades antrópicas.

Fonte: Organizado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das discussões apresentadas, ressalta-se a importância das marmitas como fontes de dados para a reconstrução paleoambiental do semiárido brasileiro, pois essas depressões fechadas têm se apresentado como estruturas eficientes de armazenamento de sedimentos e mesmo de vestígios da megafauna desde o UMG.

Os depósitos de encosta, como enfatiza Corrêa *et al.* (2008), não revelam os tipos climáticos e suas respectivas respostas erosivas e deposicionais, mas são importantes “marcadores” de um padrão em que eventos de alta energia e baixa recorrência se intercala a eventos mais frequentes de menor intensidade.

Do ponto de vista da reconstituição da paleopluviosidade, os estudos de análise dos registros isotópicos do oxigênio apresentaram resultados que corroboram as informações referentes às mudanças ambientais durante o Quaternário Tardio nos demais ambientes deposicionais.

Os estudos analisados atestam a ocorrência de mudanças ambientais associadas aos ciclos climáticos glaciais e interglaciais que, no caso do semiárido brasileiro, têm se observado uma predominância de climas secos com grau de semiaridez variável desde o UMG, intercalados por eventos milenares de alta energia. Ressalta-se ainda a diversidade de ambientes no Semiárido Brasileiro, os quais respondem de maneiras distintas às variações climáticas. Por esta razão, reforça-se também a importância de ampliar as áreas de estudos relacionados com a reconstrução dos paleoambientes do semiárido.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. S. **Os Mamíferos Pleistocênicos de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2007. 127p.
- AMORIM, R. F. **Integração entre dinâmicas geomorfológicas multitemporais no planalto da Borborema, semiárido do NE do Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2015. 193p.
- AMORIM, R. F.; CORREA, C. B.; SILVA, D. G. Tempo e magnitude nos processos geomorfológicos. **Geografia (Rio Claro)**. v. 41, p. 17-31, 2016.
- BAKER, P. A.; RIGSBY, C. A.; SELTZER, G. O.; FRITZ, S.C.; LOWENSTEINK, T. K.; BACHER, N. P.; VELIZ, C. Tropical climate changes at millennial and orbital timescales on Bolivian Altiplano. **Nature**. v.409, p. 698-701, 2001.
- BARRETO, E. A. S. **Reconstituição da pluviosidade da Chapada Diamantina (BA) durante o Quaternário Tardio através de registros isotópicos (O e C) em estalagmites.** Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010. 110p.
- BERGQVIST, L. P.; ALMEIDA, E. B. Biodiversidade de mamíferos fósseis brasileiros. **Revista Universidade de Guarulhos – Geociências**. V.9, n. 6, p.54-68, 2004.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; DOS SANTOS, G. F. **Estrutura e Origem das Paisagens tropicais e Subtropicais.** Florianópolis: Editora da UFSC, Volume 1, 1994. 426p.

CAMPBELL, E. M. Granite Landforms. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, v. 80, n. 3, p.101-112, 1997

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2001. 386p.

CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G.; MELO, J. S. Utilização dos Depósitos de Encostas dos Brejos Pernambucanos como Marcadores Paleoclimáticos do Quaternário Tardio no Semiárido Nordestino. **Mercator**. Vol.14, p.101-121, 2008.

CRUZ, F. W.; VUILLE, M.; BURNS, S. J.; WANG, X.; CHENG, H.; WERNER, M.; EDWARDS, R. L.; KARMANN, I.; AULER, A. S.; NGUYEN, H. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience**. v. 2, p.210-214, 2009.

DANSGAARD, W.; JOHNSEN, S. J.; CLAUSEN, H.B.; DAHL-JESEN, D.; GUNDESTRUP, N.S.; HAMMER, C.U.; HVIDBERG, C.S.; STEFFENSEN, J.P.; SVEINBJORNSDOTTIR, A.E.; JOUZEL, J.; BOND, G.C. Evidence for general instability of past climate from 250 kyr ice-core record. **Nature**, v.364, p.218-219, 1993.

LIMA, F. G. **Evolução Geomorfológica e Reconstrução Paleoambiental do Setor Subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe: um estudo a partir dos depósitos colúviais localizados nos municípios de Crato e Barbalha – Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Pernambuco. Recife, 2015. 192p.

LIRA, D. R. **Origem, dinâmica e reconstrução geomorfológica através da assinatura geoquímica dos latossolos nas bacias do Riacho do Pontal e GI-8**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife. 2014. 236p.

MUTZENBERG, D. S. **Gênese e ocupação pré-histórica do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do Vale do Rio Carnaúba – RN**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2007. 142p.

MUTZEMBERG, D. S.; CORRÊA, A.C.B. DE; CISNEIROS, D.; ASÓN VIDAL, I.; DALTRINI FELICE, G.; GOMES DA SILVA, D.; KHOURY, H. & LIBONATI, R. Sítio Arqueológico Lagoa do Uri de Cima: Cronoestratigrafia de Eventos Paleoambientais no Semiárido Nordestino. **Fundamentos**, v.1, n.10, 51-60, 2013.

SILVA, D. G. **Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus – Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2007. 155p.

SILVA, D. G. **Reconstrução da dinâmica geomorfológica do semiárido brasileiro no quaternário superior a partir de uma abordagem multiproxy**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013. 277p.

SILVA, D. G., CORREA, A.C.B., AMORIM, R.F. Caracterização morfológica e dinâmica ambiental das marmitas (weathering pit) no distrito de Fazenda Nova, Pernambuco – Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v.18, n.2, p.350-362, 2017.

STRÍNKIS, N. M. **Paleopluviosidade no norte de Minas Gerais durante o glacial tardio e o Holoceno com base em registros de espeleotemas**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 2011. 124p.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 400p.

WANG, Y.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; KONG, X.; SHAO, X.; CHEN, S.; WU, J.; JIANG, X.; WANG, X.; AN, Z. Millennial and orbital scale changes in East Asian monsoon over the past 224,000 years. **Nature**. v.452, p.1090-1093, 2008.

VIDAL ROMAÍ, J. R.; RODRIGUEZ, M. V. Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. **Nature Conservation**. V. 63, p.41-46, 2007.