
AS PAISAGENS CÁRSTICAS DA FLÓRIDA, EUA

Robert Brinkmann
Universidade do Sul da Flórida ¹
rbrinkmn@cas.usf.edu

Philip van Beynen
Universidade do Sul da Flórida

RESUMO

As paisagens cársticas formam-se tipicamente da dissolução de rochas solúveis como os calcários. Na Flórida, elas são comuns, em razão da existência de ampla plataforma calcárea em toda a extensão do território desse estado americano. A maior parte dessa paisagem pode ser classificada como “paisagem cárstica encoberta”, onde a rocha solúvel que conduz à diversidade da paisagem está coberta por sedimento marinho não solúvel. As formas de relevo características são as dolinas, as fontes e as cavernas. As dolinas são as formas mais comuns, existindo milhares delas na Flórida. A sua distribuição não é aleatória, havendo maior densidade onde na cobertura sedimentar ocorrem sedimentos grosseiros. As dolinas podem se formar subitamente e causam graves prejuízos econômicos. Quanto às fontes, há centenas delas na Flórida, dentre as quais, 33 de 1ª magnitude, o que significa a maior concentração de fontes de 1ª magnitude no mundo. Elas têm grande importância na economia, por terem suas águas minerais vendidas engarrafadas e pelo potencial turístico que apresentam. As cavernas também são numerosas, sendo atualmente conhecidas 1.200. Normalmente, elas se situam dentro da zona freática, possuindo os mais profundos e longos aquedutos da Flórida. Com frequência, são associadas a fontes. As cavernas contêm importantes informações sobre paleofauna quaternária e sobre hábitos dos índios americanos que ocupavam a Flórida. Além desses três tipos de paisagens cársticas, outras de menor expressão, como córregos temporários e vales de dissolução, ocorrem do território da Flórida.

ABSTRACT

Karst landscapes typically form from the solution of soluble rocks such as limestone. In Florida, where a broad limestone platform underlies most of its territory, they are very common. The Florida's karst landscape can be classified as a “covered karst landscape,” considering that the soluble rock that drives to the diversity of landscape is covered by non-soluble marine sediments. The most important forms in those landscapes are sinkholes, springs and caves. Sinkholes are the most common form, and thousands of them exist in Florida. The distribution of sinkholes is not random, being less dense where the sedimentary cover is formed by coarse sediments. Sinkholes can be suddenly formed, causing grave economic damages. Springs are also very common. There are hundreds of them in Florida, and among them, 33 of 1st magnitude (related to large discharges), what signifies the biggest concentration of 1st magnitude springs in the world. Springs have a large importance to local economies, because their mineral water is sold as bottled water, and also because of their tourist potential. Finally, the caves, are also numerous – around 1,200 are known in Florida at present. Normally, they are situated inside the aquifer zone, possessing the deepest and longest conduits in Florida. The caves give important information about Quaternary palaeofauna and sometimes, also about American Indian habits. Beyond those three main kinds of karst landscapes, some forms of smaller expression, as temporary streams and solution valleys, also occur in the territory of Florida.

Introdução

As paisagens cársticas formam-se tipicamente da dissolução de rochas solúveis, tais como os calcários (Ford e Williams, 2007). As formas de relevo produzidas no processo de evolução das paisagens cársticas são bastante singulares, e incluem, sobretudo, depressões de dissolução (dolinas), fontes e cavernas. Em muitas áreas do mundo, essas formas ajudam a definir a história geomórfica global da região na qual se situam. Por exemplo, a paisagem no sul da China é muito bem conhecida pela sua torre cárstica, assim como são conhecidas as paisagens cársticas da Jamaica, Cuba e Filipinas (White, 1988). O propósito deste artigo é revisar a paisagem cárstica da Flórida, com o objetivo principal de apresentar estas formas de relevo singulares a indivíduos que não conhecem a região. A vasta e rica paisagem cárstica do estado da Flórida é discutida em primeiro lugar, seguida de um resumo das formas de relevo cárstico existentes.

O Estado da Flórida é uma região política formal dos Estados Unidos, representando um estado com uma extensão de mais de 88.000 km². Limitado ao norte pelos estados do Alabama e Geórgia e

cercado por água por todos os outros lados, o estado é peninsular em forma, americano e caribenho de cultura, e marinho de origem. Os processos marinhos representam a principal força geomórfica nos quase 3.700 km de contorno de linha de costa. No entanto, no interior do estado, dominam processos cársticos (Lane, 1986).

A razão da importância de processos cársticos na Flórida é devida à expressiva existência de calcário, presente na maior parte do território da Flórida, na chamada 'Plataforma da Flórida' (Randazzo e Jones, 1997). Durante a maior parte do Cenozóico, a Flórida sofreu uma série de eventos transgressivos e regressivos do nível do mar, os quais trouxeram sedimentos para a área continental, produzindo ambientes marinhos rasos que promoveram a formação de materiais micríticos e fossilíferos carbonatados. Durante esses eventos, a plataforma da Flórida expandiu-se em extensão geográfica e topográfica, e a sedimentação, seguida de litificação, criaram a ampla plataforma calcárea. A extensão de terra acima do nível do mar variou consideravelmente com as mudanças quaternárias do clima global. Durante períodos mais frios, o nível do mar caiu até 120 m, expondo amplas áreas da plataforma. Nestes períodos, a terra acima do nível do mar era quase o dobro das áreas expostas atuais. Durante períodos mais quentes, somente as porções mais altas do estado não ficaram submersas, e existiram como ilhas. Esta contínua elevação e queda do nível do mar define a distribuição de características cársticas. Assim, a Plataforma da Flórida pode ser dividida em quatro regiões cársticas principais: 1) áreas atualmente submersas, 2) ilhas antigas, 3) planícies recentemente expostas e 4) planícies cársticas.

Quanto ao primeiro item, salienta-se que as áreas atualmente submersas da Plataforma da Flórida são encontradas principalmente no segmento leste, voltado para o Golfo do México. Embora os processos cársticos não estejam atualmente ativos nesta área devido à alta salinidade das águas do golfo, há muitas características paleocársticas que podem ser encontradas devido ao fato de que a paisagem foi exposta à atmosfera múltiplas vezes durante o Cenozóico. Há intenso transporte de sedimento neste segmento devido às correntes, e ocorrem dolinas. Existe ainda áreas onde água doce viaja por canais subterrâneos para misturar-se com água do mar, criando fontes de água doce no interior do golfo. As ilhas antigas do estado (item 2) são encontradas nos cumes mais altos, notadamente, o Brooksville Ridge (Cume de Brooksville) e o Lake Wales Ridge (Cume do Lago de Gales). Durante a maior parte do tempo em que o nível do mar elevou-se ao longo do Cenozóico, os cumes ficaram expostos, como ilhas isoladas. Deste modo, estas áreas têm as características cársticas mais extensivamente desenvolvidas do estado. As planícies recentemente expostas (item 3) consistem em grande parte nas áreas ao sul do Lago Okeechobee. A maior parte desta área foi exposta nos últimos milênios. As rochas associadas e sedimentos nesta área são bastante jovens e não têm desenvolvimento cársticos extensos. As planícies cársticas (item 4) ocupam o restante das terras. Estas áreas são planícies que sofreram uma série de eventos de formação de paisagem cárstica em razão de subidas do nível do mar.

Portanto, quando exposta, a paisagem é propensa a processos cársticos e desenvolvimento de dolinas, cavernas e fontes. Quando o nível do mar regressa, os processos cársticos reduzem sua velocidade ou param e sedimentos marinhos preenchem as depressões cársticas. Conseqüentemente, esta paisagem é complexa, e resistiu a uma série de eventos de formação cárstica e de alternância cárstica/marinha. Entretanto, é extremamente plana, devido, sobretudo à ação niveladora dos processos marinhos.

A maior parte da Flórida pode ser classificada como uma paisagem cárstica encoberta. Neste tipo de terreno, a rocha solúvel que conduz à diversidade da paisagem está coberta por material não solúvel, normalmente sedimento marinho. Em muitas áreas o sedimento é areia, embora não seja incomum encontrar lama marinha ou calcário coberto de turfa em algumas áreas. Dada esta situação, a maioria dos processos cársticos que conduzem à formação de paisagem cárstica ocorre em subsolo, particularmente ao nível do lençol freático. Em alguns áreas do estado, o calcário está exposto à superfície, particularmente em zonas litorâneas e nos pontos mais altos do relevo. Nessas áreas expostas, os processos cársticos podem agir diretamente sobre o calcáreo. Nos próximos itens, explicitaremos a natureza das formas criadas por esses processos, tanto nos setores onde o calcáreo acha-se exposto quanto naqueles em que essas rochas estão encobertas.

As Paisagens Carsticas da Flórida

Dolinas

Natureza das dolinas

Há milhares de dolinas dentro do Estado da Flórida, e elas podem se formar a partir de três processos principais (figura 1). O primeiro, e talvez o menos comum, é por dissolução da superfície do pacote calcáreo. Como notado anteriormente, há poucas áreas onde a rocha está diretamente exposta à atmosfera, assim a extensão de dolinas resultantes desse processo é limitada. O segundo modo de formação de dolinas ocorre através de colapso da cobertura superficial. Quando isto ocorre, um vazio se forma no depósito calcário, que rui criando uma depressão súbita na paisagem. Embora estes eventos sejam raros, eles podem produzir danos importantes ao patrimônio social. O terceiro modo, e mais comum, de formação de dolinas, é através de processos de subsidência da camada sedimentar que recobre a plataforma calcárea. Neste cenário, os sedimentos deslocam-se lentamente através do calcário como a areia de uma ampulheta. Com o tempo, pequenas depressões se formam na superfície do pacote sedimentar. Este tipo de dolina causa danos de propriedade em várias áreas da Flórida.

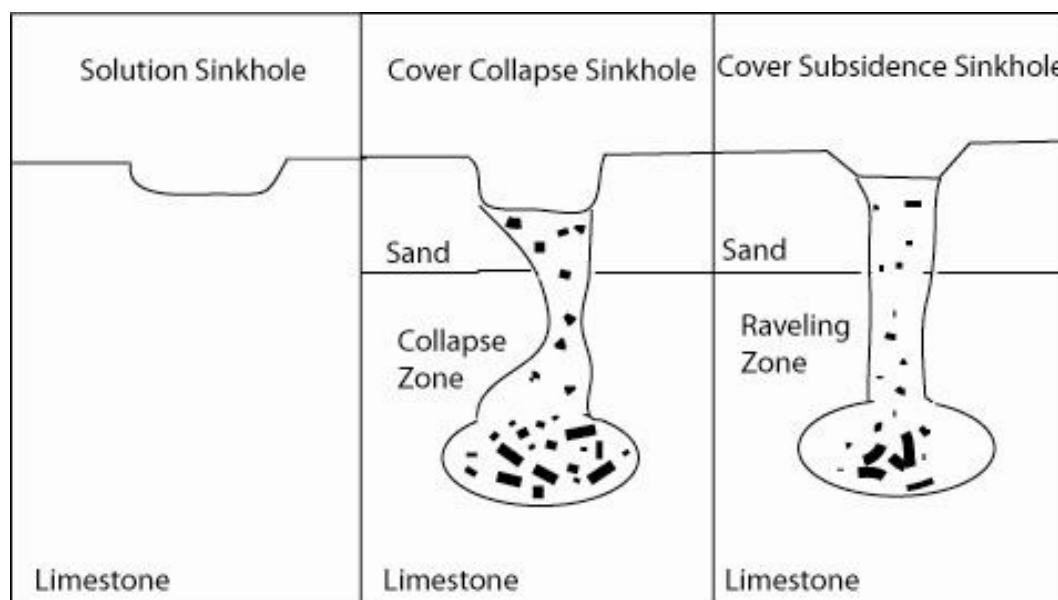


Figura 1. Processo de Formação de Dolinas na Flórida (A: dolina de dissolução; B) dolina de colapso; C: dolina de subsidência (da cobertura sedimentar).

A distribuição das dolinas não é aleatória. A maioria das dolinas ocorre dentro da porção peninsular do estado, particularmente perto de Tampa e Orlando. Pensa-se que a distribuição das dolinas esteja relacionada à granulometria da cobertura sedimentar que existe sobre o calcário solúvel. Tihansky (1999) descobriu que há menos dolinas quando o sedimento é mais grosseiro; em áreas como Tampa e Orlando, onde a granulometria da cobertura sedimentar é altamente variável, a distribuição das dolinas também varia, demonstrando a ligação estreita entre a granulometria da cobertura sedimentar e a formação dessas feições.

A maioria das dolinas que existe na Flórida é relativamente pequena, geralmente menor que 2,5 km², e não se apresentam inundadas. Contudo, a topografia do estado é pouco acidentada, não sendo incomum encontrar dolinas em zonas úmidas rebaixadas, onde formam-se “lagos de dolina”. Pode-se imaginar que à medida em que as condições hidrológicas mudam com o avanço ou o recuo do nível do mar, altera-se também o regime hidrológico. Deste modo, os ambientes ecológicos e hidrológicos dos sistemas de dolinas acham-se em equilíbrio frágil com a paisagem adjacente.

Dolinas maiores ocorrem em muitas áreas do estado. Frequentemente, elas formam-se como sistemas de uvalas complexos, devido a ocorrência de dolinas múltiplas. Com efeito, muitos lagos formados nas dolinas estão interconectados com outros lagos do mesmo gênero, e criam sistemas de drenagem complexos dentro da paisagem cárstica mais ampla. Em algumas áreas, a água dos lagos pode escoar e desaparecer de acordo com a época do ano, ou sob condições hidrológicas ímpares. Assim, não é incomum ter-se uma drenagem súbita das águas de um lago, que se esvazia, como resultado de mudança de pressões hidrológicas em subsuperfície. Do mesmo modo, não é incomum para uma dolina seca tornar-se um lago subitamente. Por outro lado, avalia-se que inúmeras dolinas foram perdidas devido à urbanização (Brinkmann e outros, 2007).

Infelizmente, as dolinas proporcionam inúmeros caminhos para contaminação das reservas de água subterrânea na Flórida. O aquífero da Flórida, um dos mais produtivos do mundo, está sob permanente ameaça de poluição, porque é conectado diretamente à superfície através das dolinas. Se algum tipo de evento de poluição ocorrer próximo a uma dolina durante, por exemplo, uma tempestade, fenômeno comum na Flórida, o escoamento superficial podem levar poluentes diretamente para o aquífero. Devido à existência de cavernas com inúmeras interconexões com o aquífero, o poluente pode ser distribuído por vastas distâncias, contaminando assim muitos poços de água potável.

Políticas referentes às dolinas

Na Flórida há muitas políticas em vigor referentes às dolinas. Elas podem ser classificadas em dois tipos de políticas: proteção do meio ambiente e seguros. Há vários municípios que têm decretos que buscam prevenir a contaminação ambiental através das dolinas, impedindo o desenvolvimento urbano no entorno dessas feições ou definindo tipos de construções específicas (Fleury, 2007). Em alguns casos, há também políticas que protegem a hidrologia e o ecossistemas de dolinas, particularmente quando existem zonas úmidas e lagos.

Talvez a questão mais significativa quanto à política referente às dolinas esteja relacionada aos seguros de bens. Até recentemente, era exigido que todo proprietário de imóvel no estado tivesse seguro de bens que incluísse danos causados por dolinas. Os danos causados por dolinas podem ser rachaduras nas fundações ou paredes, até danos mais significativos que exigem a completa demolição de casas. Infelizmente, o estado experimentou uma série de graves desastres nas últimas décadas, começando com o furacão Andrew em 1991 e terminando com os furacões Ivan, Frances, Charley e Jeanne em 2004. Estes desastres, alguns dos mais caros na história americana, enfraqueceram a indústria de seguros na Flórida, e muitas companhias abandonaram o estado. No entanto, as reclamações referente a dolinas aumentam a cada ano, tanto em número como em pagamentos de seguros em dólar. Dada esta situação, o governo do estado modificou as regras dos seguros nestes últimos anos para tornar mais atraente para as empresas de seguros a permanência na Flórida. Uma das tais modificações limita o acesso à garantia de seguro em função de desastres causados por dolinas.

O seguro referente às dolinas é altamente controverso no estado, não apenas por causa dos últimos anos tumultuosos - enquanto o estado debatia como mudar as regras dos seguros devido à crise causada pelos desastres naturais -, mas também porque a definição de dolina no código legal do estado é ambígua. Conforme a lei dos seguros, uma dolina é definida como sendo identificável através de expressão topográfica ou pela presença em subsuperfície de depressões. Mas muitos dos problemas causados por dolinas em propriedades, como fundações ou paredes rachadas, também podem ser causados por outros problemas como práticas ineficientes de construção, depósitos de turfa de subsuperfície, ou presença de lama (pela ocorrência de montmorilonita). Por causa disto, várias indústrias existem na Flórida para avaliar danos de propriedade para determinar se uma reclamação para obtenção de seguro em razão de desastres provocados por dolinas pode ser feita. Muito debate ocorreu sobre a natureza destas avaliações e a confiança global das técnicas utilizadas nas avaliações. Está claro que as regras e a regulamentações sobre o seguro para desastres provocados por dolinas promovem muita consternação para proprietários de

imóveis, para o estado e para aqueles envolvidos com a indústria de seguros. As políticas associadas com tais situações, no momento, têm futuro incerto.

Dolinas notáveis

Talvez a dolina mais famosa da Flórida seja a “Winter Park Sinkhole” (Dolina do Parque Inverno), que formou-se repentinamente em 1981. Em um dia, uma depressão de grande porte engoliu uma área do tamanho de um quarteirão de uma cidade. A dolina formou-se durante uma seca prolongada e pensa-se que a redução do lençol freático regional tenha ativado o colapso de uma grande caverna existente em subsuperfície sob a cidade. Infelizmente, houve danos significativos de propriedade, embora ninguém tenha saído ferido. Outra dolina notável é uma profunda depressão semelhante a uma lança chamada de “Devil’s Millhopper” (o saltador do diabo). Tem 36 m de profundidade e está localizada próximo de Gainesville. Dado que o ponto mais alto da Flórida está a 103 m, a dolina tem um das exposições mais significativas de rocha calcárea no estado.

A “Winter Park Sinkhole” é a dolina mais famosa da Flórida, porém a mais importante na perspectiva histórica é a “Paynes Prairie” (Pradaria Paynes), uma grande dolina próxima do complexo de Gainesville. Esta depressão, de 100.000 m², tem uma hidrologia complexa, que remonta a períodos em que a depressão era um lago e a períodos em que era apenas pradaria. Historicamente, houve esforços para drenar e fechar a depressão, dependendo dos caprichos econômicos dos períodos. Por exemplo, como pradaria, a terra foi usada para pastoreio de gado, notadamente pelos espanhóis durante a ocupação colonial da região. Entretanto, foi usado durante o século 19 como um lago pelos cultivadores americanos de frutas cítricas. Atualmente, é uma parque estatal.

Fontes

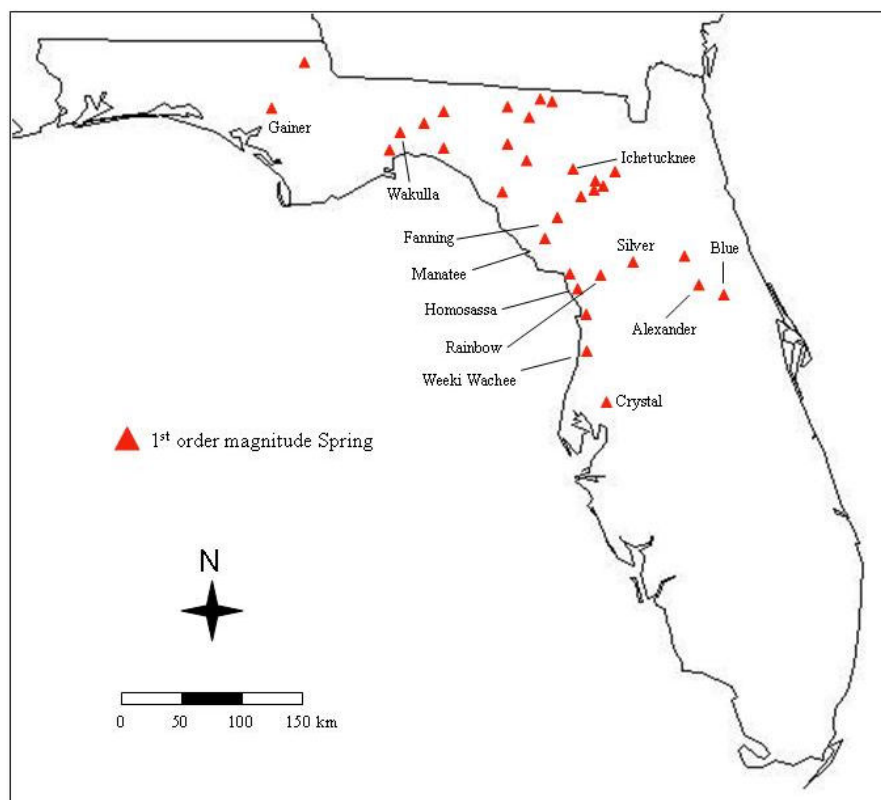
Natureza das fontes

Há centenas de fontes na Flórida, a maioria delas situadas na parte norte do estado (figura 2). As fontes são classificadas baseando-se na suas descargas globais, e são definidas como fontes de 1^a a 8^a magnitude (tabela 1), com a 1^a magnitude tendo a maior taxa de descarga (Copeland, 2004). Ocorrem 33 fontes de 1^a magnitude na Flórida, talvez a maior concentração de fontes de primeira magnitude no mundo (Scott e outros, 2004).

Existem dois tipos de fontes na Flórida: fontes do lençol freático e fontes cársticas (Scott e outros, 2004). As fontes do lençol freático ocorrem onde a água move-se e intercepta a superfície do terreno em áreas baixas. As fontes cársticas ocorrem onde a água move-se através de canais cársticos alcançando a superfície por meio de uma “janela cárstica”. As fontes cársticas são as fontes mais comum no estado. A água que flui através destas fontes está frequentemente sob pressão, porque a água que flui pelo canal vem de aquífero confinado. Quando o aquífero torna-se livre, altas descargas ocorrem.

A distribuição de fontes com altas descargas não é aleatória (figura 3). Elas ficam situadas em locais onde o aquífero muda de condições, de confinado a livre. Esta situação é predominante na porção noroeste da península, onde há várias fontes bem conhecidas em uma distância relativamente curta: as fontes “Homosassa”, as fontes “Rainbow”, as fontes “Weeki Wachee” e as fontes “Crystal Rivers”. Cada fonte tem um único ponto de descarga - um exutório que escoar para o Golfo do México.

Essas fontes são descritas mais adequadamente como complexos de fontes, pois são frequentemente associadas a múltiplos pontos de descarga. Por exemplo, nas fontes “Rainbow”, várias fontes ocorrem próximas, alimentando um exutório significativo. Quando há um ponto de descarga principal, ocorrem fontes menores associadas, que podem ser identificadas por causa da grande turbulência da água. Com efeito, nestes locais, a água borbulha em direção à superfície, revolvendo sedimentos e detritos. As aberturas das fontes principais são normalmente de grande dimensão, mas por vezes, mergulhadores têm dificuldade de penetrar devido a alta descarga.



NB: Some of these locations include groups of springs

Figura 2. Distribuição de Fontes Cársticas na Flórida (algumas das localidades indicam ocorrência de grupos de fontes)

Tabela 1. Classificação das fontes baseada na descarga.

Magnitude	Taxa de descarga
1 ^a Magnitude	Mais de 3.500 m ³ /s
2 ^a Magnitude	350-3.500 m ³ /s
3 ^a Magnitude	3,5-350 m ³ /s
4 ^a Magnitude	3700 litros/min
5 ^a Magnitude	370-3700 litros/min
6 ^a Magnitude	37-370 litros/min
7 ^a Magnitude	Menor que 37 litros/min
8 ^a Magnitude	Menos de 3,7litros/min
0 magnitude	Nenhum fluxo



Figura 3 - A paisagem do carste litorâneo de Ozele, Flórida.

Significação econômica das fontes

As fontes têm uma grande importância na economia da Flórida (Bonn e Bell, 2003). Durante décadas elas têm sido atrações turísticas importantes. Talvez a fonte mais famosa do estado seja a fonte “Weeki Wachee”. Aí, uma atração turística foi construída nos anos 40 - um teatro subaquático, situado embaixo d’água. “Sereias” fantasiadas nadavam ao som de música popular, e faziam truques como comer e beber em baixo da água. Apesar da atração não ser mais tão popular quanto antes, ainda leva turistas à região. Outras fontes também proporcionam atrações turísticas - por exemplo, a fonte “Homosassa”, usada como refúgio por peixes-boi, onde os visitantes podem vê-los em recinto subaquático. As fontes “Crystal” e “Rainbow” têm postos de canoas que permitem aos visitantes remarem e realizarem corridas aquáticas.

Talvez a atividade econômica mais significativa relacionada com fontes seja o uso da água natural para venda como água engarrafada. A água “Zephyrhills” é uma marca comum de água engarrafada nos Estados Unidos, particularmente na Flórida. A água vem da fonte “Crystal”, situada perto de Tampa. São usadas dezenas de milhares de galões de água por dia para produzir água engarrafada desta fonte. Há cada vez maior interesse em usar fontes para água engarrafada na Flórida (Samek, 2004). Infelizmente, isto levou a conflitos advindos de questões como propriedade de terra, retirada de água em reservatórios subterrâneos e declives com água superficial e uso da água de propriedade do Estado pela iniciativa privada.

Cavernas

Natureza das cavernas

A Flórida tem pelo menos 1.200 cavernas conhecidas, e novas cavernas são freqüentemente descobertas. Devido ao relevo relativamente plano e baixo, a maioria dos canais que existem no interior

das cavernas situa-se dentro da zona freática, permitindo assim um fluxo rápido dos aquíferos. A vasta maioria das cavernas se encontra no norte da Flórida, associadas ao relevo de planalto de “Brooksville, Wales, Lakeland, Winter Haven, Bombing Range e Lake Henry”. O Noroeste da Flórida (“Panhandle”) tem as únicas cavernas turísticas, situadas no “Flórida Cavernas State Park”, que também contém as cavernas mais longas do estado. Geralmente, as cavernas têm menos de 1 km de comprimento e se caracterizam por pequenas e tortuosas passagens com freqüentes desmoronamentos. Sabe-se que a maioria das cavernas de Flórida nunca será descoberta, porque carecem de entradas naturais devido à sua espeleogenese, que será discutida abaixo. Apenas através da formação natural de dolinas, ou por meio de extração mineral, serão encontradas. Um famoso exemplo é a caverna de “Brooksville Ridge”, um das mais longas e decoradas, que foi acidentalmente aberta por uma pedreira.

As cavernas freáticas compõem os canais mais fundos e mais longos da Flórida. Muitas permitem o acesso à suas partes internas através da existência de fontes, e a Flórida tem muitas de ordem de descarga de primeira magnitude. O complexo de fontes “Weeki Wachee” foi explorado durante uma seca recente, quando a descarga de água foi reduzida, permitindo que os mergulhadores pudessem explorar a caverna, descobrindo inclusive que ela se tratava da mais funda dos Estados Unidos, apresentando profundidade de mais de 130 m abaixo do nível do mar (Brent Hemphill, comunicação pessoal). Esta caverna é enorme, comparada aos canais terrestres, com compartimentos de 36,58 m de largura e 30,48 m de profundidade. Dolinas são outros pontos de entrada comuns para cavernas, apresentando gargantas estreitas que se abrem em cavernas maiores.

Cenário geológico e Espeleogênese

As duas formações geológicas que contêm a maioria das cavernas na Flórida são calcáreos de idade oligocena e eocena (Florea et al. 2007). As formações superiores são geologicamente mais jovens (< 5 ma) e de natureza eogenética, caracterizadas por alta permeabilidade devido à falta de exposição à processos metamórficos. O resultado disto é a baixa porosidade secundária que apresentam, a qual seria necessária para o desenvolvimento de extensas passagens cársticas. Por conseguinte, as cavernas são pequenas e apresentam feições do tipo “queijo suíço”.

As origens das cavernas ainda estão sendo investigadas, mas estudos recentes feitos por Brinkmann e Reeder (1994) e Florea et al. (2007) fornecem informações sobre o tema. Brinkmann e Reeder (1994) investigaram o grupo de cavernas de “Dames”, no município de Citrus, que se formou no calcário oligoceno Suwannee, provavelmente em função de mistura de água doce e salgada. Tal mistura muda as forças iônicas da água, conduzindo à dissolução do leito rochoso. O período principal de espeleogenese provavelmente foi o Mioceno, quando foi formado o “Arco de Ocala” (Ocala Arch).

Esta zona de mistura da água fresca com a do mar parece ter ocorrido nos últimos 2Ma devido a períodos glaciais, com consequentes variação do nível do mar, de até 120m. Períodos mais longos de desenvolvimento de cavernas teriam acontecido durante intervalos glaciais nos quais o nível do mar baixou de maneira mais demarcada, criando assim cavernas – as maiores da Flórida, como confirmado por mergulhadores - abaixo do nível atual. Florea et al. (2007) quantificaram a relação entre “nível de mar” e “desenvolvimento de cavernas”, e encontraram cavernas situadas a 5, 12, 21 e 30m acima do nível do lençol freático e a 15, 30, 70 e 90m abaixo do nível do lençol freático. Essas profundidades correspondem a terraços marinhos criados por níveis de mar quaternários. Os autores sugeriram que o nível do mar controlava o nível do lençol freático, fato que seria fundamental para a formação das cavernas - e não a mistura de água doce e salgada (Florea et al. 2007). Entretanto, ambos os processos de desenvolvimento de cavernas devem estar em operação, com as cavernas mais elevadas que o lençol freático sendo ampliadas por dissolução de ácido carbônico e as cavernas abaixo do lençol freático sendo aumentadas nas zonas de mistura de água doce e salgada, por mudanças na força iônica da água. Níveis do mar variáveis apenas mudariam a posição dessas zonas.

Importância paleontológica e arqueológica

Cavernas proporcionam dispositivos excelentes para definição da fauna do Pleistoceno, porque eram locais onde animais caíam e/ou morriam, e seus restos eram cobertos por sedimentos, fossilizando-os. Elas funcionaram como abrigo para ursos, lobos e gatos pré-históricos, e numerosas espécies de pássaros – corujas, por exemplo, cuja presença foi detectada na caverna “Saber-tooth”, através da ocorrência de depósitos de ossos de roedores (Holman 1958). Não se sabia da existência na Flórida da cobra *Carphophis* até que foram achados fósseis dessa animal em uma caverna; também foram descobertas espécies extintas como a cobra cascavel gigante, e até mesmo filhotes de mastodontes, em uma caverna perto de Newberry, no município de Alachua. Além disso, foram encontradas evidências da realização de enterros por nativos americanos em cavernas associadas com lagos de dolina - como “Warm Mineral Springs” -, a partir da identificação de esqueletos humanos situados 13 m abaixo do nível do mar (Clausen et al. 1975). Com efeito, somente humanos poderiam ter entrado nas cavernas durante a última era glacial, o que permite datar a ocupação humana na Flórida em mais de 10 Ka. Uma idade semelhante foi calculada a partir de um crânio encontrado na caverna “Maynard”, no município de Citrus. Cavernas ao redor do mundo foram frequentemente usadas para enterros humanos e aparece que os índios americanos na Flórida não foram exceção.

Biota das cavernas

Provavelmente as espécies mais comuns em cavernas sejam os morcegos. As cavernas da Flórida são ocupadas pelo “morcego cinza” e pelo “morcego do sudeste”, que são subespécies em extinção. Mas ocorrem também verdadeiros troglóbios (espécies que se adaptam especificamente às cavernas), dentre os quais se incluem o “lagostim de caverna”, a “salamandra cega da Geórgia” e a “lesma áspera”. Há ainda vários artrópodes, como aranhas (Peck 1970), que podem ser considerados troglófilos (achados em cavernas, mas sem adaptações específicas para a vida nas cavernas). Ocorrem ainda os troglóxenos (que apenas buscam refúgio nas cavernas), como os “grilos de caverna”. Um exemplo menos comum são castores que foram encontrados residindo em certas cavernas no norte da Flórida, algo não existente no resto do País (Gore e Baker 1989). Na verdade, a fauna das cavernas é tão rica que Franz et al (1994) a agruparam em seis categorias distintas, cada uma com uma combinação única de características hidrológicas, geológicas e ecológicas.

A flora se limita obviamente à entrada das cavernas, devido à exigência de fotossíntese. Foram achadas várias espécies de samambaia nesses locais – como, por exemplo, na “Floresta Estadual Withlatchoochee”, na Flórida central. *Verecundum de Asplenium*, *A. curtissii*, *A. plenum*, *A. scalifolium* e *A. subtile* são samambaias raras encontradas na Caverna “Maynard” (Darling 1961).

Outros Relevos Carsticos: considerações finais

Há outras formas cársticas na Flórida, de menor expressão espacial, tais como o carste litorâneo, os vales de dissolução e os córregos temporários.

Carste litorâneo

Talvez a zona mais extensa de carste litorâneo se situe ao norte da região de Tampa, na porção centro-oeste do estado, no litoral do Golfo do México. A plataforma estende-se por mais de 130 km, e as formas de relevo existentes são complexas, como podem ser vistas no mapa da região de Ozello (figura 3). Estas paisagens são o resultado da interação dos processos litorâneos e cársticos, impactados pelas mudanças quaternárias do nível mar. Outras regiões importantes de carste litorâneo ocorrem nos complexos sistemas de ilhas-barreira que caracterizam a Flórida. Os núcleos de algumas das ilhas-barreira são recifes

carbonatados que estão sujeitos a processos de carstificação. Podem ainda ser encontradas cavernas e dolinas na paisagem cárstica litorânea, ainda que não tão desenvolvidas.

Vales de dissolução e córregos temporários

Os vales de dissolução são encontrados nas áreas mais elevadas da Flórida. Eles se formam em subsolo, a partir do colapso de sistemas de cavernas. Frequentemente, estes sistemas são complexos e fazem parte de drenagens efêmeras, ou refletem sistemas de drenagem subterrânea. Durante a estação chuvosa, os vales podem ser inundados e podem ser classificados como poljés. Enquanto córregos superficiais são raros no carste da Flórida, alguns córregos subterrâneos ocorrem nestes vales de dissolução. Há alguns locais no estado onde pequenos córregos drenam para o subsolo, formando córregos temporários.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Professora Vanda de Claudino Sales, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, pela tradução do texto original.

Notas

¹ Tradução realizada por Vanda Claudino Sales, Departamento de Geografia da UFC

Bibliografia

- BONN, M.A.; BELL, F.W.** 2003. *Economic impact of selected Florida springs on the surrounding local areas: Report for the Florida Department of Environmental Protection Division of State Lands*, Florida Springs Task Force, 102 p.
- BRINKMANN, R.; REEDER, P.** 1994. The influence of sealevel change and geologic structure on cave development in West-central Florida. *Physical Geography* V. 14, p. 52-61.
- BRINKMANN, R., WILSON, K., ELKO, N., SEALE, L., FLOREA, L., VACHER, H.** 2007. Sinkhole distribution based on pre-development mapping in urbanized Pinellas County, Florida, USA. *Geological Society of London Special Publications* V. 279, p 5-11. <http://sp.lyellcollection.org/cgi/content/abstract/279/1/5>
- CLAUSEN, C. J., BROOKS; H. K., WESOLOWSKY, A. B.** (1975), The Early Man Site at Warm Mineral Springs, Florida. *Journal of Field Archaeology*, Vol. 2, No. 3., pp. 191-213
- COPELAND, R.** (compiler), 2003. *Florida Spring Classification System and spring glossary*. Florida Geological Survey, Special Publication No. 52, 18p.
- DARLING, T.** Florida Rarities. 1961. *American Fern Journal* 51(1): 1-15.
- FLOREA, L.J., VACHER, H.L., DONAHUE, B.; NAAR, D.** 2007. Quaternary cave levels in peninsular Florida. *Quaternary Science Reviews* v. 26, 9-10, p. 1344-1361.
- FORD, D.C.; WILLIAMS, P.** 2007. *Karst Hydrology and Geomorphology*. Wiley, 576p.
- FRANZ, R., BAUER, J.; MORRIS, T.** 1994. Review of biologically significant caves and their faunas in Florida and south Georgia. *Brimleyana* V. 20, p. 1-109.
- GORE, J.A.; BAKER, W.W.** (1989) Beavers residing in caves in northern Florida. *Journal of Mammology*, 70 (3); 677-678.
- HOLMAN, J.A.** 1958. The Plesitocene Hepetofauna of Saber-Tooth Cave, Cigtrus County, Florida. *Copeia* V. 4, p. 276-280.
- LANE, E.** 1986. *Karst in Florida*. Special Publication No. 29, Florida Geological Survey, 100 p.
- PECK, S.B.** 1970. The terrestrial arthropod fauna of Florida caves. *The Florida Entomologist*. V. 52, p. 203-207.

- RANDAZZO, A.F.; JONES, D.S.** Eds. 1997. *The Geology of Florida*. University of Florida Press, 400 p.
- SAMEK, K.** 2004. Unknown quantity: The bottled water industry and Florida's springs. *Journal of Land Use and Environmental Law*. V. 19, p. 569-595.
- SCOTT, T.M. MEANS, G.H., MEEGAN, R.P., MEANS, R.C., UPSCHURCH, S.B., COPELAND, R.E., JONES, J, ROBERTS, T.,; WILLET, A.** 2004. *Springs of Florida*, Florida Geological Survey Bulletin 66, 658 p.
- TIHANSKY, A.B.** 1999. Sinkholes in West Central Florida, in Galloway, D. Jones, D.R. and Ingebritsen, S.E. *Land Subsidence in the United States*. USGS Circular 1182, p. 121-140.
- WALSH, S.J.** (2001) Freshwater Macrofauna of Florida Karst Habitats. In Eve L. Kuniansky, editor, 2001, U.S. Geological Survey Karst Interest Group *Proceedings, U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings*, St. Petersburg, Florida, February 13-16: USGS Water-Resources Investigations Report 01-4011
- WHITE, W.B.** 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terains*. Oxford, 480 p.

Trabalho enviado em julho de 2008

Trabalho aceito em setembro de 2008