



www.icmbio.gov.br/cecav
ISSN: 2159-4952

REVISTA BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA - RBEsp

v.2, nº 8 (2017)

NOVOS DADOS PRELIMINARES SOBRE O PADRÃO BIOGEOGRÁFICO DE *Spelaeogammarus trajanoae* Koenemann & Holsinger, 2000 (Amphipoda: Bogidiellidae) NO AQUÍFERO CÁRSTICO DA BACIA DO RIO SALITRE, CENTRO NORTE DO ESTADO DA BAHIA.

André Vieira de Araújo

NEHMA /UFBA - Instituto de Geociências
Universidade Federal da Bahia Campus Ondina
e-mail: anddrevieira@gmail.com

Luiz Rogério Bastos Leal

NEHMA /UFBA - Instituto de Geociências
Universidade Federal da Bahia Campus Ondina
e-mail: lrogerio@ufba.br

Doriedson Ferreira Gomes

Departamento de Botânica
Universidade Federal da Bahia
e-mail: doriedsofg@yahoo.com.br

RESUMO

A distribuição da espécie *Spelaeogammarus trajanoae*, crustáceo aquático pertencente à ordem Amphipoda e endêmico das cavernas do norte da Bahia foi determinada em sete cavernas distribuídas no sentido norte-sul do aquífero cárstico da Bacia do rio Salitre, foi também analisada as condições hidroquímica de cada ponto amostrado. Os crustáceos encontrados habitam exclusivamente águas subterrâneas. Essa distribuição localizada pode sugerir uma dispersão na direção do fluxo dentro do aquífero. Os resultados mostram que apesar do aquífero possuir três diferentes classes químicas de água, essa condição parece não afetar a distribuição da espécie. A vicariância aliada a mudanças climáticas pode ter um papel maior que a dispersão para explicar a distribuição das populações, visto que, apesar do crustáceo ser encontrado em cavernas separadas por mais de 200 km de distancia ele está ausente em cavernas conectadas hidraulicamente e por vezes está limitado a um único ponto no interior de cavernas extensamente alagadas sugerindo baixo poder de dispersão.

Palavras-chave: Hidroquímica; Água subterrânea; Amphipoda.

NOVOS DADOS PRELIMINARES SOBRE O PADRÃO BIOGEOGRÁFICO DE *Spelaeogammarus trajanoae* Koenemann & Holsinger, 2000 (Amphipoda: Bogidiellidae) NO AQUÍFERO CÁRSTICO DA BACIA DO RIO SALITRE, CENTRO NORTE DO ESTADO DA BAHIA.

ABSTRACT

The distribution of the species *Spelaeogammarus trajanoae*, an aquatic crustacean endemic of caves in northern Bahia, was determined in seven caves distributed in a north-south direction of the karstic aquifer of the Salitre river basin, and the hydrochemical conditons of each sample point as also analyzed. The crustaceans found exclusively inhabit groundwater. This localized distribution may suggest a dispersion in the direction of the flow within the aquifer. The results show that in spite of the aquifer

having three different chemical classes of water, this condition does not seem to affect the distribution of the species. The vicariance may have a greater role than the dispersion for explaining the distribution of the species since, although the crustacean be found in separate caverns for over 200 km away it is absent in caves connected hydraulically and is sometimes limited to a single point inside caves extensively flooded demonstrating low dispersion capacity.

Keywords: Hydrochemistry; Groundwater; Amphipoda.

1. INTRODUÇÃO

Carste é um tipo de paisagem em que a troca entre as águas subterrâneas e superficiais resulta em um complexo e imprevisível aquífero (BONACCI et al., 2009). Pela sua própria natureza, aquíferos cársticos e outros ambientes subterrâneos são pouco conhecidos, e ainda assim eles são o lar de um grande número de espécies endêmicas e representantes de espécies antigas que foram abundantes no passado e hoje são restritas a esses ambientes e são chamadas de espécies relictuais (BOULTON et al., 2003). A utilização de crustáceos subterrâneos para estudos biogeográficos remonta a década de 80 (BOUTIN & COINEAU, 1988; HOLSINGER, 1992; NOTENBOOM, 1991). HOLSINGER (1994) ressalta que a utilização de padrões de distribuição de anfípodas subterrâneas correlacionados a história geológica e os aspectos ecológicos auxiliam no entendimento dos processos evolutivos de especiação.

Spelaeogammarus Da Silva Brum, 1975 é um gênero pertencente à família Artesiididae e ocorre exclusivamente nas águas subterrâneas do Estado da Bahia. Atualmente são conhecidas seis espécies desse gênero, todas foram encontradas em cavernas, entre estas está *Spelaeogammarus trajanoae*, que é endêmica das cavernas calcárias na bacia do rio Salitre; (BASTOS-PEREIRA e FERREIRA 2015; SENNA et al., 2014; KOENEMANN & HOLSINGER 2000). Por serem espécies endêmicas a distribuição dos anfípodas do gênero *Spelaeogammarus* pode lançar luz sobre a forma de invasão e dispersão na região estudada com base na história conjunta do grupo e do seu meio na escala de tempo geológica.

A complexidade das interações entre as variáveis bióticas e abióticas que regem os padrões de distribuição e abundância das espécies no ambiente subterrâneo tem atraído a atenção de diversos pesquisadores (PHILLIPS, 2016; PAGE et al., 2008; COUTER & GALARWICZ, 2015; DI LORENZO et al., 2013). No entanto, esses estudos são escassos no Brasil. Nesse artigo analisamos o padrão de distribuição latitudinal do anfípode *Spelaeogammarus trajanoae* dentro do aquífero cárstico da bacia do rio Salitre e sua relação com variáveis físico-químicas no ambiente. No contexto da biogeografia histórica envolve a descrição da distribuição de uma espécie juntamente com a investigação dos dados geológicos e paleogeográficos e de eventos que podem ter agido como barreiras responsáveis pela história da distribuição do grupo.

2. ÁREA DE ESTUDO

Localizada no centro-norte do estado da Bahia, a bacia hidrográfica do rio Salitre é uma Sub-bacia do Rio São Francisco. (**Figura 1**)

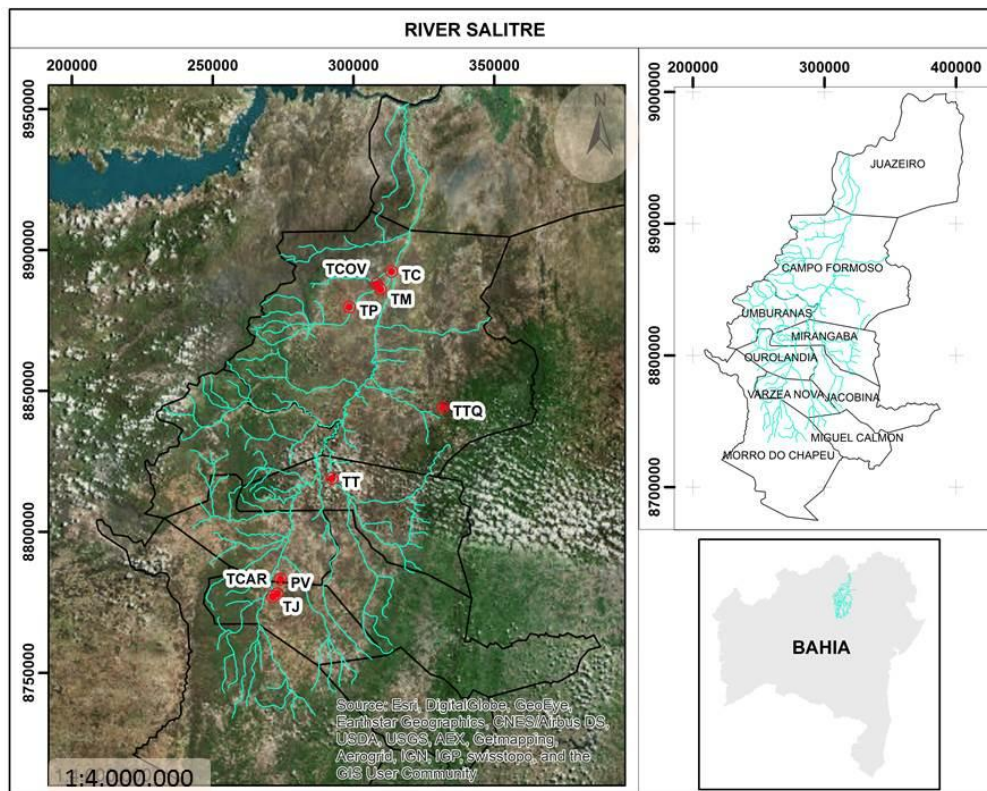


Figura 1. Bacia do rio Salitre, limites dos municípios e pontos de coleta.

A bacia hidrográfica do rio Salitre possui uma área de 13.467,93 km². A Bacia é dividida em três sub- regiões do sul para o norte: Alto, Médio e Baixo Salitre. Por não ter uma forma poligonal, pode-se dizer que o extremo norte da área fica a norte do paralelo 9°30'S, e o extremo sul a norte do paralelo 11°30'S. O limite ocidental fica a leste do meridiano 41°30'W, e o limite oriental a leste do meridiano 40°30'W (SILVA, 2006).

Na bacia, as rochas do Proterozoico superior (Grupo Una: formação bebedouro e formação salitre) e coberturas calcárias cenozoicas (Formação Caatinga) são denominados de domínio de aquífero cárstico (SILVA, 2006; RIBEIRO, 2005). O carste do Grupo Una apresenta sistemas de cavernas muito extensas incluindo a maior do Brasil, Toca da Boa Vista, com 108 km de galerias mapeadas. Contígua aos carbonatos Una, a Formação Salitre, encontra-se uma área cárstica, formada de rochas calcárias a partir de idade muito mais recente (Quaternário), referido como Formação Caatinga (AULER e FARRANT 1996). Estes calcários foram formados por remodelagem dos calcários Una devido ao intemperismo, erosão e transporte de sedimentos durante carstificação da Formação Salitre. Este último foi exposto no início do Paleogeno, cerca de 65 milhões de anos atrás, enquanto a carstificação da Formação Caatinga provavelmente teria começado cerca de 2,5 milhões de anos atrás. A cobertura vegetal da maior parte dos terrenos da bacia é esparsa e arbustiva. O Clima é semiárido, com média anual chuvas cerca de 490 mm concentradas entre os meses de fevereiro e maio. A temperatura média anual é cerca de 30 °C (AULER et al. 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostragens para execução do estudo foram realizadas nos meses de outubro de 2015, período seco, e abril de 2016, período chuvoso, em água subterrânea de cavernas situadas nas sub-regiões do baixo médio e alto Salitre (**Tabela 1**).

Tabela 1. Coordenadas dos pontos de amostragem. Datum WGS 84 .

Sub-região	Legenda	UTM_X	UTM_y	Cota	
Baixo Salitre	TC	Toca do Cesário	313602	8892326	499
	TCOV	Toca do Convento	308300	8887978	518
	TM	Toca do Martilano	309639	8886107	515
	PB	Poço Buraco	308148	8885794	506
	TP	Toca do Pitu	298614	8879755	535
Médio Salitre	TTQ	Toca da Tiquara	331808	8844146	750
Alto Salitre	PT	Poço Trincheira	292433	8818968	527
	TT	Toca da Trincheira	292494	8818988	527
	PV	Poço Verde	274184	8783194	573
	TCAR	Toca do Carlito	273037	8778064	575
	TJ	Toca da Jurema	269896	8776668	551

Foram analisadas *in situ* as variáveis: temperatura (°C), condutividade elétrica (mS/cm), pH, Oxigênio dissolvido (mg/L) e saturação do oxigênio (%), sólidos totais dissolvidos (g/L), ORP potencial de redução (mv). Com o auxílio de uma sonda multiparâmetros da marca Horiba (modelo U-50G);

As análises hidroquímica foram realizadas pelo laboratório Merieux Nutrisciences Salvador-BA. E seguiram as seguintes metodologias: Determinação de Metais por Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES); Determinação de nitrogênio total por método titulométrico; Determinação de Íons por Cromatografia Iônica com detecção por condutividade.

As coletas biológicas foram realizadas através de métodos de arrasto de plâncton com malha de 60 μ , acondicionados em potes plásticos com solução Transeau. Foram utilizados dados conhecidos sobre a presença da espécie disponível na literatura que não foi possível confirmar no presente trabalho.

Os diagramas hidroquímicos foram feitos utilizando o Software Qualigraf (FUCEME,2015).

4. RESULTADOS

O perfil das características físico-químicas (**Tabela 2**) apresenta um notável gradiente para os parâmetros: salinidade (SAL.), sólidos totais dissolvidos (STD) e consequentemente a condutividade elétrica (C.E.). O gradiente apresenta os maiores valores nas águas das cavernas do alto Salitre, notadamente Toca do Carlito (TCAR), e vai diminuindo no sentido norte – sul na direção das cavernas do baixo Salitre atingindo baixos valores na Toca do Convento (TCov). Esse gradiente é invertido no que diz respeito ao Oxigênio dissolvido (O.D) com os menores valores encontrados no alto Salitre e crescendo em direção as cavernas do baixo Salitre. A Toca da Tiquara (TTQ) situada no médio Salitre apresenta valores intermediários de ambos os gradientes. Para as variáveis pH e temperatura não é perceptível esse gradiente. O pH varia pouco entre os pontos amostrados e a temperatura apresenta uma variação de aproximadamente 3 ° C entre cavernas tanto no alto quanto no baixo Salitre.

Tabela 2. Parâmetros físicos químicos da água subterrânea em cavernas do aquífero cárstico do rio Salitre.

Cavernas	C.E ($\mu\text{S/cm}$)	pH	OD (mg/L)	OD. (%)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	STD (g/L^{-1})	SAL. (%)	ORP (mv)
TC	439	7.5	8.57	105.4	24.96	0.2825	0.025	166.5
TM	677	7	6.75	83.3	24.945	0.433	0.03	146.5
TCOV	636	6.86	6.46	78.4	23.9	0.407	0.03	164
TP	609	6.965	6.4	83.85	28.775	0.3895	0.03	118.5
TTQ	1.170	7.01	7.87	97	25.13	0.75	0.06	117
TT	1.640	7.085	5.625	68.75	24.155	1.0515	0.085	127
P.V	1.385	6.67	4.48	56.4	27.835	0.8885	0.07	122.5
TJ	1.600	7.1	4.7	61	26.8	1.02	0.08	113
TCAR	1.610	6.66	4.93	64.3	28.36	1.03	0.08	158

Combinando os dados das águas coletadas nas cavernas com as de águas coletadas em poços tubulares próximos aos pontos amostrados observamos o mesmo padrão de gradiente físico-químico entre as sub-regiões do aquífero cárstico (Figuras 2,3 e 4).

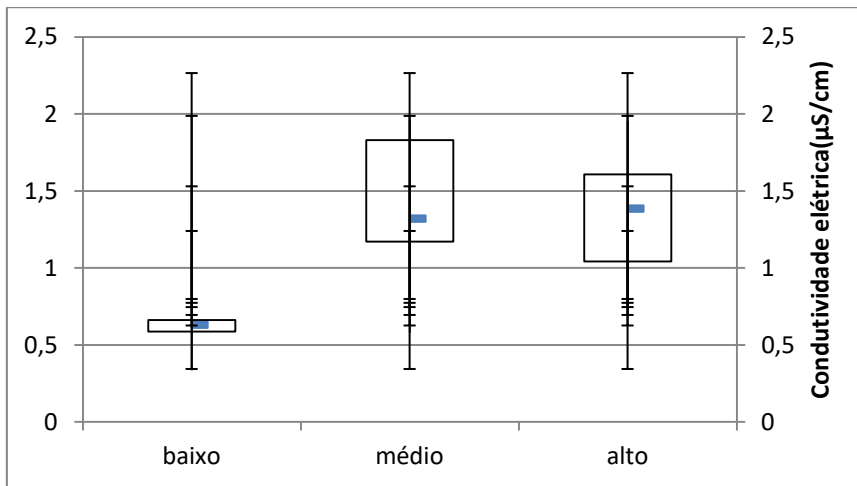


Figura 2. Box-plot da condutividade elétrica nas sub-regiões do aquífero cárstico do rio Salitre.

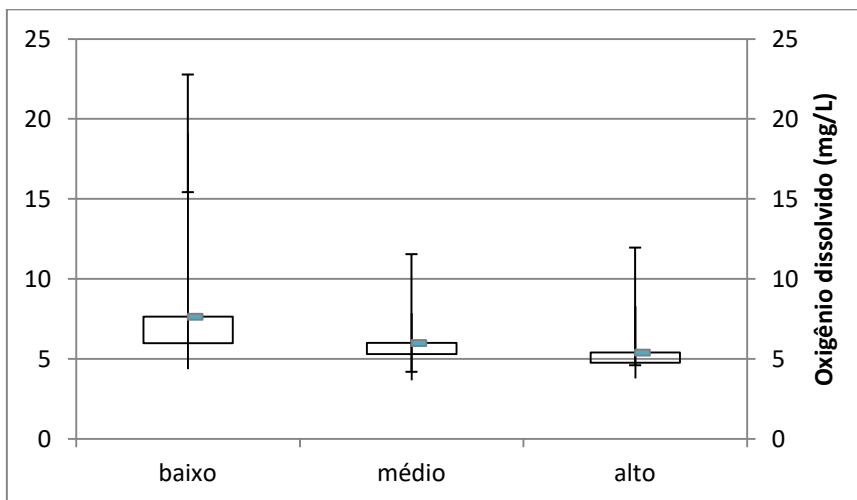


Figura 3. Box-plot do Oxigênio dissolvido nas sub-regiões do aquífero cárstico do rio Salitre.

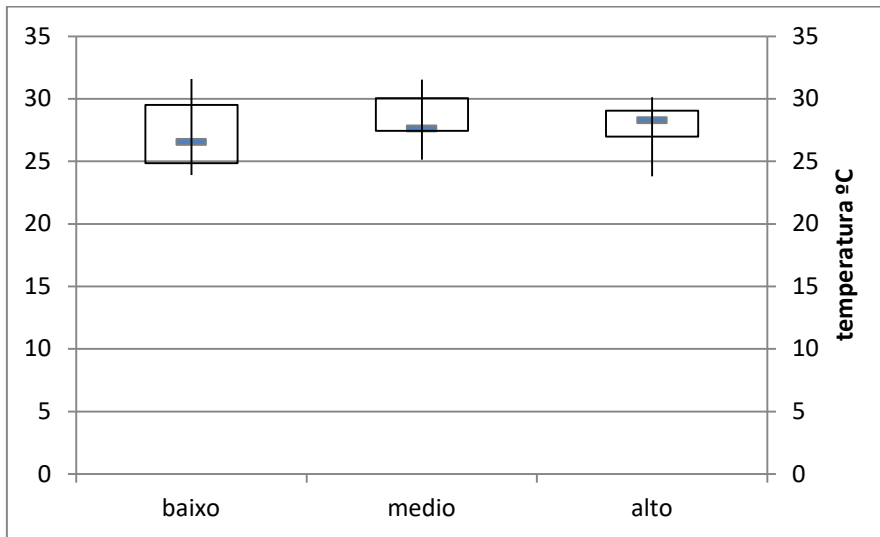


Figura 4. Box-plot da temperatura nas sub-regiões do aquífero cárstico do rio Salitre.

O diagrama de Piper (**Figura 5**) foi utilizado para classificar as diferentes amostras de água subterrânea e determinar os possíveis cenários geoquímicos, além da água coletada em cavernas também utilizamos nesse diagrama para fins de comparação, água coletada em poços tubulares próximos aos pontos de amostragem.

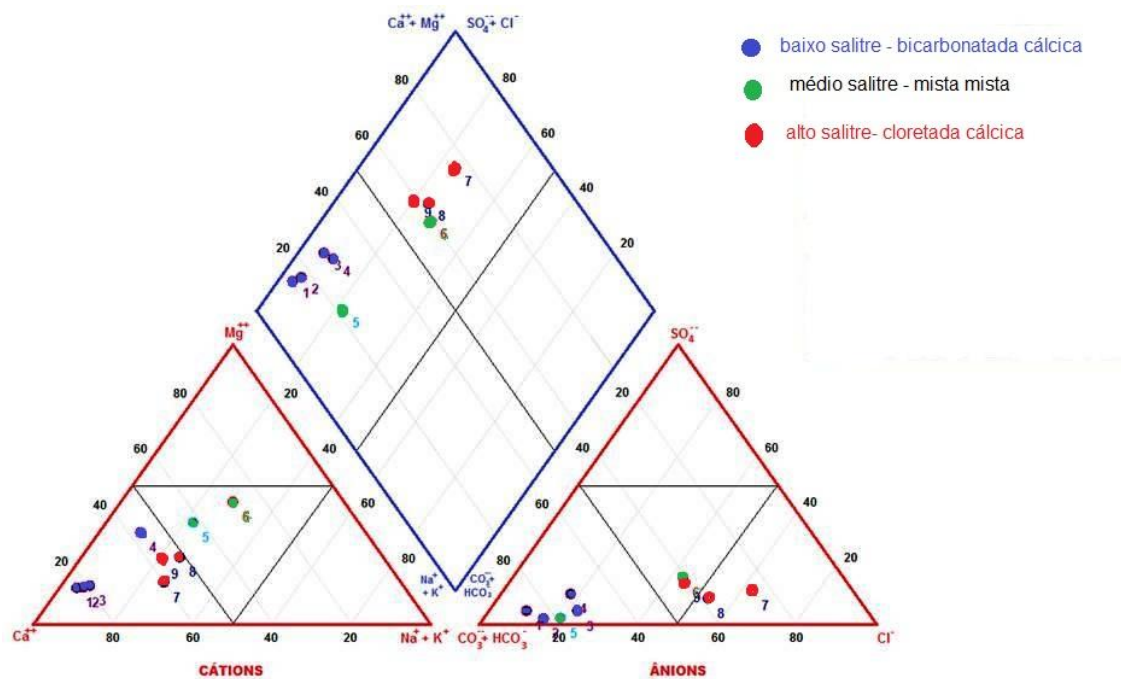


Figura 5. Diagrama de Piper representando os diferentes grupos químicos de água encontrada no aquífero cárstico da bacia do rio Salitre.

O mapa hidrogeológico (**Figura 6**) foi adaptado de (RIBEIRO, 2005) e estão plotado as prováveis zonas de circulação da água subterrânea e os pontos onde foram amostrada água com e sem a presença de *Spelaogammarus trajanoae*.

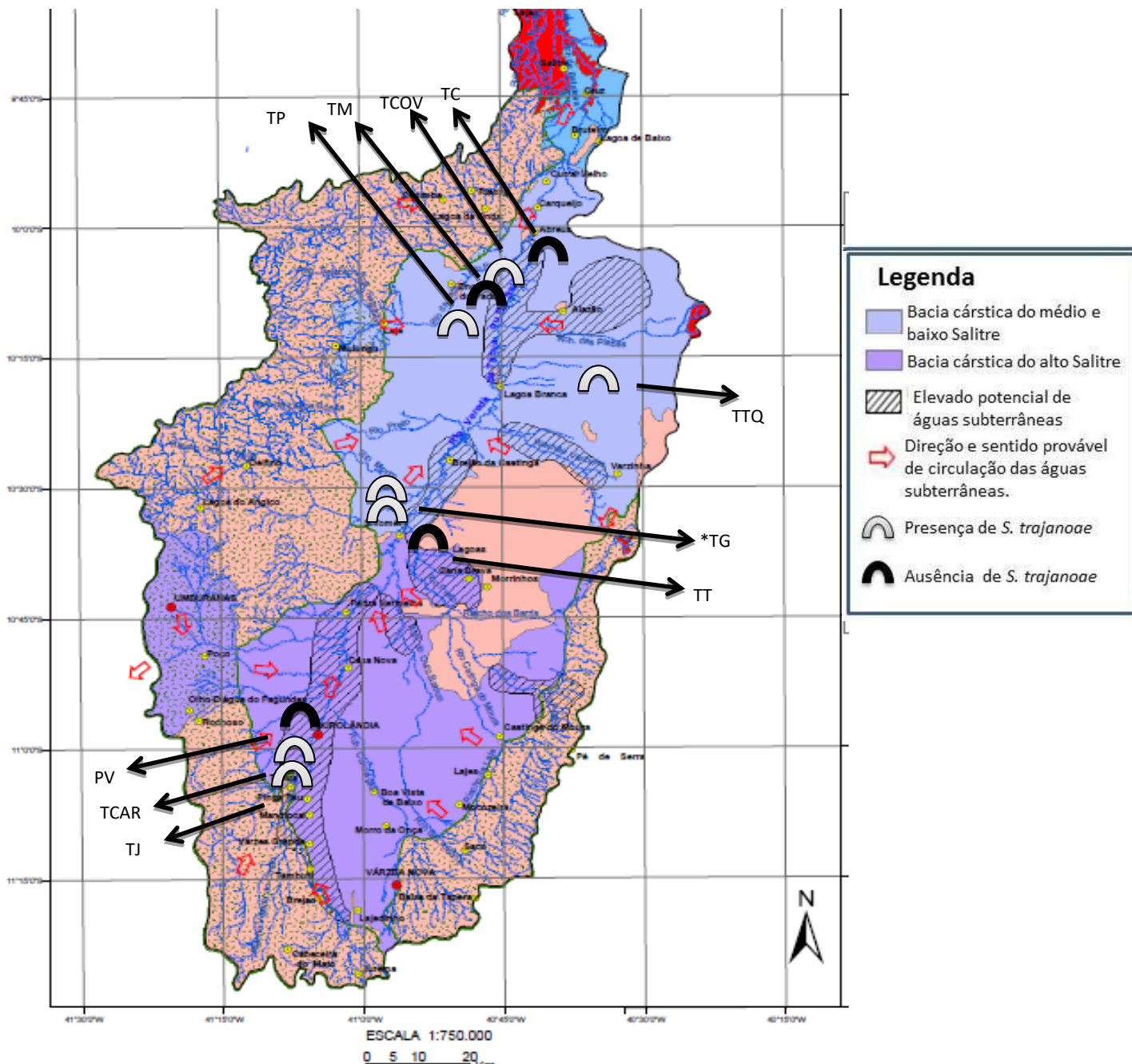


Figura 6. Mapa hidrogeológico apresentando uma possível rota de fluxo nos domínios aquíferos da bacia do salitre. (Adaptado de RIBEIRO 2005).

ARAÚJO & PEIXOTO (2015) registraram a ocorrência de *S. trajanoae* na Toca da Tiquara. O presente trabalho registra mais dois novos habitats para *S. trajanoae*: Toca do Carlito e Toca da Jurema. Estes são os registros da espécie mais ao sul da bacia, os primeiros na sub-região do alto Salitre.

5. DISCUSSÃO

KOENEMANN & HOLSINGER (2000), registraram a presença de *S. trajanoae* para as seguintes cavernas da bacia do rio Salitre: Toca do Convento, Toca do Pitu,

Toca do Gonçalves e Toca do Teodoro. No presente estudo nos confirmamos a presença de populações de *S. trajanoae* para 5 cavernas do total de 9 amostradas ao longo da bacia, incluindo Toca do Convento e Toca do Pitu. O sistema formado pelas cavernas Toca do Gonçalves e Toca do Teodoro (*TG na Figura 6) na região do médio Salitre não foi possível ser amostrado durante os períodos de coleta da nossa pesquisa devido a um rebaixamento do nível freático que tornou as galerias da caverna anteriormente inundadas em secas e conseqüentemente sem macro-acesso ao lençol freático. A redução dos níveis de água da caverna ao longo da última década tem sido acompanhada por pesquisas recentes e atribuídas a combinação de dois fatores: A retirada da água através de bombas elétricas para uso na irrigação de tomate e pimentão por agricultores da região e o longo período de estiagem na região sem chuvas fortes nos últimos três anos (SOUZA - SILVA & FERREIRA, 2016).

Apesar do domínio aquífero cárstico na bacia do Salitre apresentar três regiões distintas com relação aos aspectos hidrogeológicos, este fato parece não influenciar na distribuição da espécie *S. trajanoae*, uma vez que foi possível registrar exemplares dessa espécie em cavernas do alto, médio e baixo Salitre. A maioria dos estudos de distribuição longitudinal de uma espécie em áreas cársticas são focados em gradientes hidrogeológicos. O trabalho de COUTER & GALAROWICZ (2015) atribui a diferenças de temperatura e de fluxo da água interferindo nas assembleias de peixes entre áreas a jusante e a montante de um aquífero. Outros fatores hidrogeológicos que interferem na distribuição de invertebrados aquáticos em carste são: Tipos de sedimentos, descontinuidades geomorfológicas e impactos de inundações (LUHMANN et al. 2011; ESSAFI et al. 1992; RESH et al., 1988). Poucos são os estudos relacionando aspectos hidroquímicos à distribuição de invertebrados em água subterrânea.

DI LORENZO et al. (2003) observaram um gradiente hidroquímico influenciando na distribuição de copepodas subterrâneas na região nordeste da Itália, apontando uma maior concentração de copepodas estigóbios, isto é, exclusivamente subterrâneas, na região a montante com menores concentrações de cloreto e sulfato. Outros estudos feitos nas zonas temperadas mostram uma tendência para a diminuição de espécies estigóbias ao longo de um eixo longitudinal diminuindo as espécies com o aumento da distancia da cabeceira de drenagem da bacia (LAFONT e MALARD 2001; MALARD et al., 2003). Apesar de *S. trajanoae* ter sido encontrada em todas as sub-regiões da bacia estudada, não estamos seguros sobre a influência das variáveis ambientais no tamanho das populações.

O mapa hidrogeológico (**Figura 6**) mostra uma circulação das águas subterrâneas congruente com a distribuição da espécie. Sendo uma espécie estritamente subterrânea, se essas populações estiverem trocando genes entre si, isso implica que a espécie pode ser utilizada como um indicador natural de conectividade hidráulica no aquífero. Por outro lado, se essas populações estão atualmente isoladas o que poderia explicar sua distribuição?

Estudos em escala de tempo geológico mais amplo apresentam a dispersão e a vicariância como os dois principais modelos para explicar a história distribucional de espécies em ambientes cársticos (CULVER et al., 2009) . Em ambos os modelos assume-se que as populações ancestrais das águas superficiais estão extintas. No modelo da vicariância, a espécie ubíqua no passado teria invadido várias cavernas a partir da superfície e após a extinção do ancestral superficial a distribuição atual reflete a invasão do passado. No modelo da dispersão, a colonização das cavernas foram eventos raros, mas subseqüentes migrações dentro do aquífero explica a distribuição atual (**Figura 7**).

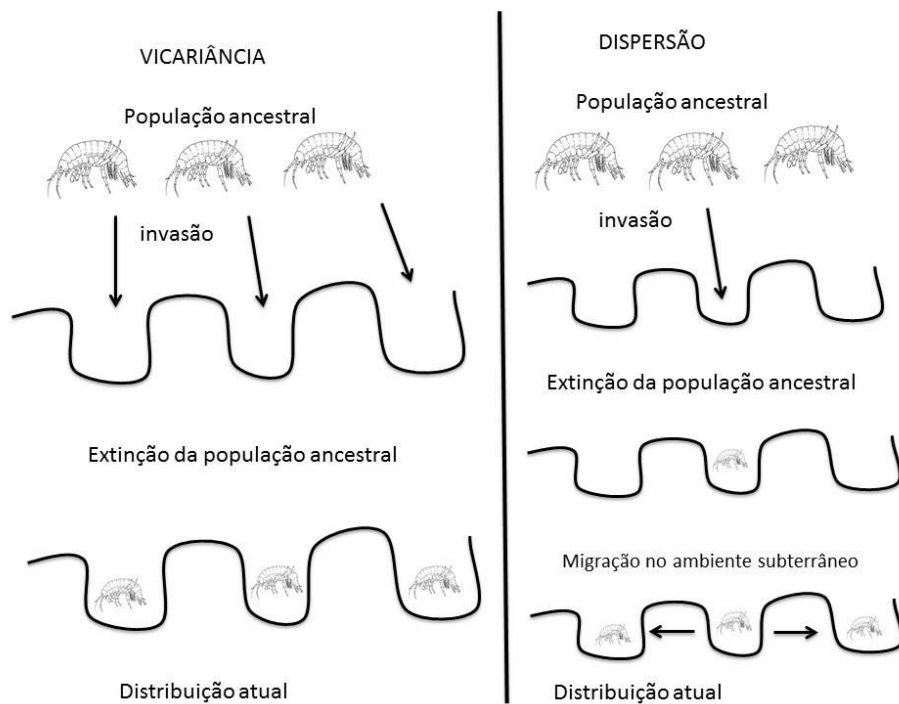


Figura 7. Diagrama dos modelos de vicariância e dispersão em cavernas (adaptado de Culver et al.(2009)).

Os modelos apresentados no diagrama da (**Figura 7**) podem ser utilizados para explicar o padrão biogeográfico e o processo de especiação do gênero *Spelaeogammarus* nas áreas cársticas do Estado da Bahia. As espécies do gênero *Spelaeogammarus* estão distribuídas em uma série de cavernas em áreas cársticas descontínuas ao longo de uma distância linear de cerca de 1.200 km, de norte ao sul da Bahia. Os registros para cada espécie por área cárstica são: *S. santanensis* -1 caverna, *S. bahiensis* 1 caverna, *S. spinilacertus* - 2 cavernas, *S. titan*- 1 caverna, *S. sanctum* 1 caverna e *S. trajanoae* - 7 cavernas (**Figura 8**). É curiosa a ausência do gênero no carste da bacia do rio Verde e Jacaré contíguo à bacia do rio Salitre, futuros estudos na área podem esclarecer essa lacuna.

Os modelos apresentados no diagrama da (**Figura 7**) podem ser utilizados para explicar o padrão biogeográfico e o processo de especiação do gênero *Spelaeogammarus* nas áreas cársticas do Estado da Bahia. As espécies do gênero *Spelaeogammarus* estão distribuídas em uma série de cavernas em áreas cársticas descontínuas ao longo de uma distância linear de cerca de 1.200 km, de norte ao sul da Bahia. Os registros para cada espécie por área cárstica são: *S. santanensis* -1 caverna, *S. bahiensis* 1 caverna, *S. spinilacertus* - 2 cavernas, *S. titan*- 1 caverna, *S. sanctum* 1 caverna e *S. trajanoae* - 7 cavernas (**Figura 8**). É curiosa a ausência do gênero no carste da bacia do rio Verde e Jacaré contíguo à bacia do rio Salitre, futuros estudos na área podem esclarecer essa lacuna.

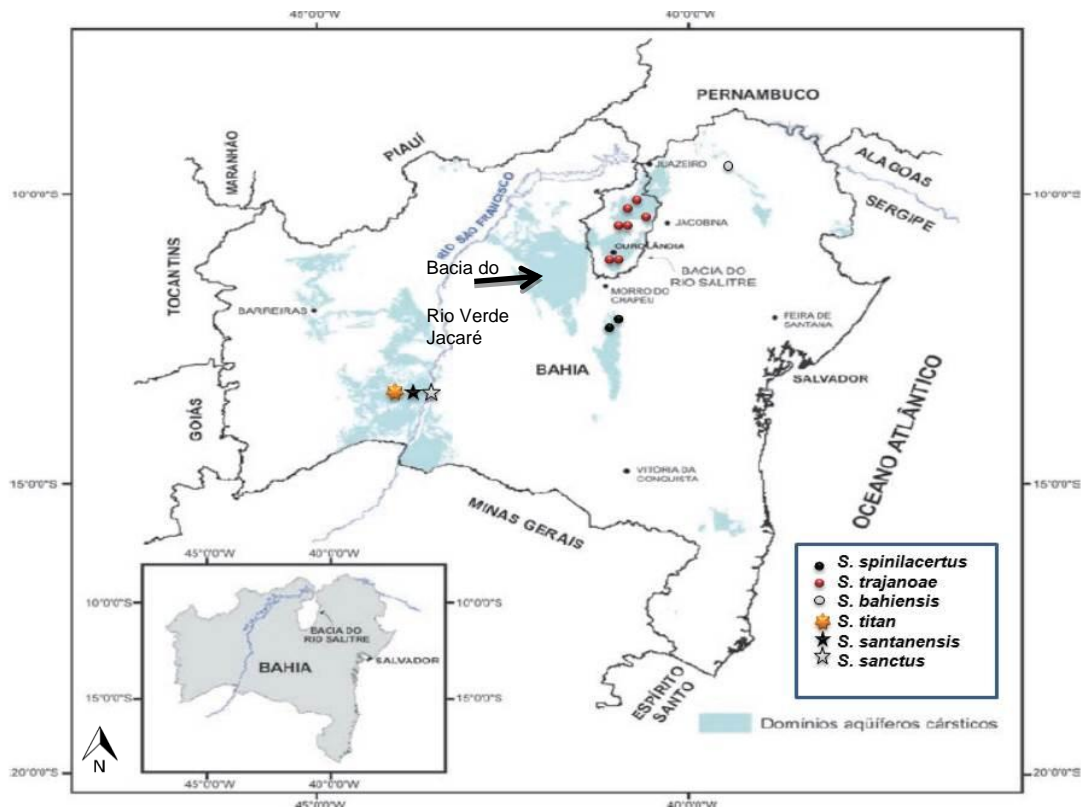


Figura 8. Distribuição das cavernas com registro de espécies do gênero *Spelaeogammarus* na Bahia.

HOLSINGER (1986) considera que os anfípodas subterrâneos possuem limitadas habilidades de dispersão, isso devido à ausência de larvas livre – natante combinado ao fato de que a maioria dos anfípodas subterrâneos vive em águas rasas e intimamente ligados ao substrato. Segundo HOLSINGER (1991) dada à combinação de dispersão limitada e alta taxa de endemismo de anfípodas estigóbios, o modelo de vicariância tem uma probabilidade muito maior de fornecer explicações satisfatórias para padrões de distribuição no presente do que cenários com base no modelo de centro de origem de dispersão.

A maioria dos trabalhos relacionando à vicariância a padrões de distribuição de anfípodas apontam processos tectônicos, regressões marinhas e disjunções transoceânicas como responsáveis pelas barreiras que permitiram a especiação (BOUTIN & COINEAU, 1988; COINEAU, 1994; HOLSINGER, 1994; FIŠER et al., 2013). Na escala das áreas cársticas do Estado da Bahia, flutuações paleoclimáticas restringindo anfípodas superficiais em refúgios de habitat subterrâneos durante longos períodos secos pode ser uma hipótese plausível para explicar a distribuição e especiação do gênero *Spelaeogammarus*. De acordo com WANG et al. (2004) o interior da Bahia passou por marcantes flutuações climáticas durante os últimos 210,000 anos, sendo que as fases úmidas foram bastante curtas representando apenas 8% dos últimos 210 mil anos.

As populações de *S. trajanoae* na bacia do rio Salitre apesar de registradas em uma faixa ampla da bacia, não foram encontradas em todas as cavernas amostradas. Já que os parâmetros físico-químicos parecem não ter efeito sobre a distribuição da espécie, não está claro o motivo da ausência da espécie em cavernas como a Toca da Trincheira, Toca do Cesário e principalmente na Toca do Martiliano que é conectada hidráulicamente com a Toca do Convento (ROCHA e GENTHNER, 1997). Mesmo em cavernas em que o lençol freático aflora em mais de um ponto como é o caso da Toca da Tiquara e Toca do Convento a espécie foi encontrada restrita a um único ponto,

corroborando o baixo poder de dispersão de anfípodas subterrâneas descrito na literatura. É possível que outros fatores (a espécie não estava presente no momento da amostragem ou algum fator ecológico como competição ou predação) justifiquem a ausência das populações nessas cavernas.

No entanto, conjecturamos que a atual distribuição reflete um processo equivalente ao que poderia explicar a distribuição do gênero, porém em uma escala menor de espaço e tempo. Mudanças climáticas a partir do último máximo glacial poderia ser a causa da redução de uma população que no passado geológico recente teria sido abundante em todo o aquífero cárstico do Salitre. De acordo com TRAJANO et al. (2016) sob condições secas o aumento das taxas de extinção são esperadas em habitats subterrâneos devido a uma drástica falta de aporte de nutriente entre outras condições adversas. AULER (2000) destaca várias evidências que indicam que no passado houve um clima mais úmido na área do presente estudo. Dentre elas citam-se: vales fluviais meandantes hoje secos; terraços fluviais com seixos de grande diâmetro indicando rios com alto gradiente hidráulico; tufos calcários hoje inativos indicando fluxo de água saturada por bicarbonato de cálcio; fósseis de vertebrados de grande porte indicando vegetação luxuriante entre outros. Amostras datadas pelo método U-Th feitas em espeleotemas na Toca da Boa Vista e em tufos calcários da região da bacia do Salitre apontam o período mais úmido no máximo glacial há 18 mil anos atrás. As datações nos tufos indicam que estes depósitos estavam ativos no máximo glacial, sendo interrompido o fluxo de água e a formação dos tufos no início do período Holoceno, cerca de 9 mil anos atrás. Portanto, a quantidade de chuvas era maior e a vegetação era mais desenvolvida no final da época glacial, tornando – se cada vez mais seca até o presente (AULER, 2000; AULER et al., 2009).

Futuros estudos com dados genéticos moleculares podem responder as hipóteses aqui aventadas para especiação do gênero nas áreas cársticas da Bahia e isolamento das populações da espécie na bacia do rio Salitre.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espécie *Spelaeogammarus trajanoae* apresenta distribuição disjunta dentro do aquífero cárstico da bacia do rio Salitre, no entanto, a amplitude das variáveis analisadas não foi suficiente para explicar um padrão de distribuição, uma vez que, apesar do aquífero apresentar três domínios hidroquímicos distintos à espécie aqui estudada está presente nos três domínios.

Conjecturamos que modelo de vicariância combinado com o efeito de mudanças climáticas pode explicar a distribuição das populações da espécie. Longos períodos secos com início a 18 mil anos isolando as populações de *S. trajanoae* em algumas poucos refúgios na bacia do rio Salitre.

Aguardamos por estudos filogeográficos com uso de relógios moleculares e novas descobertas em outras bacias que auxiliem no entendimento da evolução tanto do aquífero cárstico quanto do gênero *Spelaeogammarus*.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.V. & PEIXOTO, R.S. The Impact of Geomorphology and Human Disturbances on the Faunal Distribution in Tiquara and Angico Caves of Campo Formoso, Bahia, Brazil. *Ambient Science*, 2014: Vol. 01(1).

AULER, A.S, SMART P.L, WANG, X, PILÓ, L.B, EDWARDS, R.L, CHENG, H. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology* 106:142–153. 2009. doi:[10.1016/j.geomorph.2008.09.020](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.020)

- AULER A.S, FARRANT A.R. A brief introduction to karst and caves in Brazil. *Proc Univ Bristol Spelaeol Soc* 20:187–200.1996.
- AULER A. S. O clima do nordeste brasileiro durante o período glacial. *Revista O carste* Vol 12 (3): 150-151.2000.
- BASTOS-PEREIRA, R. & FERREIRA R.L. A new species of Spelaeogammarus (Amphipoda: Bogidielloidea: Artesiidae) with an identification key for the genus. *Zootaxa* 4021 (3): 418–432. 2015. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4021.3.2>.
- BONACCI O, PIPAN T, CULVER D. A framework for karst ecohydrology. *Environmental Geology* 56: 891–900.2009. DOI: 10.1007/ s00254-008-1189-0.
- BOULTON A J, HUMPHREYS W.F, EBERHARD S.M. Imperilled subsurface waters in Australia: biodiversity, threatening processes and conservation. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 6: 41–54.2003.
- BOUTIN, C. & N. COINEAU. *Pseudoniphargus maroccanus* n. sp. (subterranean amphipod), the first representative of the genus in Morocco. Phylogenetic relationships and paleobiogeography. *Crustaceana* Suppl. 13: 1-19.1998.
- COINEAU, N. Evolutionary biogeography of the Microparasellid isopod *Microcharon* (Crustacea) in the Mediterranean Basin *Hydrobiologia* 287: 77-93, 1994.
- COUTER A. A., & GALAROWICZ T.L., Fish assemblage and environmental differences upstream and downstream of a cave: a potential reset mechanism. *Environ Biol Fish* (2015) 98:1223–123.1
- CULVER, D.C. PIPAN, T. SCHNEIDER, K. . Vicariance, dispersal and scale in the aquatic subterranean fauna of karst regions. *Freshwater Biology* (2009) 54, 918–929 doi:10.1111/j.1365-2427.2007.01856.x.
- DI LORENZO T.,STOCH F.,GALASSI D.M.P. Incorporating the hyporheic zone within the river discontinuum: Longitudinal patterns of subsurface copepod assemblages in an Alpine stream. *Limnologia* 43 (2013) 288– 296. DOI 10.1007/s10531-016-1151-5.
- ESSAFI, K., J. MATHIEU & J. L. BEFFY. Spatial and temporal variations of Niphargus populations in interstitial aquatic habitat at the karst/floodplain interface. *Regulated Rivers: research & management* 7: 83-92. (1992).
- FIER C., ZAGMAJSTER, M. & FERREIRA, R.L. Two new Amphipod families recorded in South America shed light on an old biogeographical enigma, *Systematics and Biodiversity*, 11:2, 117-139. 2013. DOI: 10.1080/14772000.2013.788579.
- FUCEME,Fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos. <http://www.funceme.br/ acesso> em 22/05/2015.
- HOLSINGER, J. R. Zoogeographic patterns of North American subterranean amphipod crustaceans. In R. H. Gore & K. L. Heck (eds), *Crustacean Biogeography*. Balkema, Rotterdam: 85-106.1986.
- HOLSINGER, J. R. What can vicariance biogeographic models tell us about the distributional history of subterranean amphipods? *Hydrobiologia* 223: 43-45. 1991.

- HOLSINGER, J. R. Sternophysigidae, a new family of subterranean amphipods (Gammaridea: Crangonyctoidea) from South Africa, with description of *Sternophysim calceola*, new species, and comments on phylogenetic and biogeographic relationships. *J. Crust. Biol.* 12: 111-124. 1992.
- HOLSINGER, J. R. Pattern and process in the biogeography of subterranean amphipods. *Hydrobiologia*, 287, p. 131-145. 1994.
- KOENEMANN, S. & HOLSINGER, J.R. Revision of the subterranean amphipod genus *Spelaeogammarus* (Bogidiellidae) from Brazil, including descriptions of three new species and considerations of their phylogeny and biogeography. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113 (1), 104–123. 2000.
- LAFONT, M., MALARD, F. Oligochaete communities in the hyporheic zone of a glacial river, the Roseg River, Switzerland. *Hydrobiologia* 463, 75–81. 2001.
- LUHMANN AJ, COVINGTON MD, PETERS AJ, ALEXANDER SC, ANGER CT, GRENN JA, RUNKEL AC, ALEXANDER EC Jr. Classification of thermal patterns at karst springs and cave streams. *Ground Water* 49:324–335. 2011.
- MALARD, F., GALASSI, D., LAFONT, M., DOLDEC, S., WARD, J.V. Longitudinal patterns mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology* 106:142–153. doi:10.1016/j.geomorph.2008.09.020. 2003.
- NOTENBOOM, J. Marine regressions and the evolution of groundwater dwelling amphipods (Crustacea). *J. Biogeogr.* 18: 437-454. 1991.
- PAGE, J.T., HUMPHREYS F., W. HUGES J.M. Shrimps Down Under: Evolutionary Relationships of Subterranean Crustaceans from Western Australia (Decapoda: Atyidae: Stygiocaris). *PLoS ONE* 3(2): e1618. 2008. doi:10.1371/journal.pone.0001618.
- PHILLIPS, J.D. Biogeomorphology and contingent ecosystem engineering in karst landscapes. *Progress and Physical Geography* 2016, vol. 40 (4) 503-526.
- RESH V.H., BROWN A.V., COVICH A.P., GURTZ M.E.L.H.W, MINSHALL G.W., REICE S.R., SHELDON A.L., WALLACE J.B. & WISSMAR R.C. 1988. — The role of disturbance in stream ecology. *N. Am. Benthol. Soc.* 7 : 433-455.
- RIBEIRO, S. H. S. *Estudo das águas subterrâneas da bacia do rio Salitre, Bahia*. Salvador. 2005. 109f. Monografia (Graduação)-Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- ROCHA, L.F.S. & GENTHNER, C. Gruta do Martiliano- Campo Formoso/BA. *Revista O carste* Vol. 9(4) p. 98-100. 1997.
- SENN, A.R., ANDRADE, L.F., CASTELO-BRANCO, L.P. & FERREIRA, R.L. *Spelaeogammarus titan*, a new troglobitic amphipod from Brazil (Amphipoda: Bogidielloidea: Artesiidae). *Zootaxa*, 3887 (1), 55–67. 2014. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3887.1.3>.
- SILVA, A. B. *Recursos hídricos subterrâneos da bacia do rio Salitre, Bahia: uso sustentável na indústria do mármore Bege Bahia – Salvador* : CBPM, 2006. – (Série Arquivos Abertos ; 24). Organização e síntese por: Luiz Luna Freire de Miranda e Luiz Rogério Bastos Leal.

SOUZA-SILVA M, MARTINS RP, FERREIRA RL. The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America *Subterranean Biology* 19: 1–21 (2016) doi: 10.3897/subtbiol.19.8207.

TRAJANO, E. GALLÃO, J.E. BICHUETTE, M.E. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. *Biodivers Conserv* (2016) 25:1805–1828.

WANG X, AULER AS, EDWARDS RL, CHENG H, CRISTALLI PS, RICHARDS DA, SMART PL, SHEN CC (2004) Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature* In: Trajano, E. Gallão, J.E. Bichuette, M.E.(2016). Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. *Biodivers Conserv* (2016) 25:1805–1828.