

# PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA CÁLCULO ESTATÍSTICO DE DADOS ESPELEOMÉTRICOS DE ACORDO COM A INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2 DO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

## PROPOSED METHODOLOGY FOR STATISTICAL CALCULUS OF SPELEOMETRICAL DATA IN ACCORDING WITH THE NORMATIVE INSTRUCTION Nº 2 FROM THE ENVIRONMENT MINISTRY

Mariana Barbosa Timo (1) & Carla Elzi Rodrigues da Silva Acácio (2)

Splayon Consultoria – ME, Belo Horizonte MG.

(1) Engenheira Ambiental / Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Tratamento da Informação Espacial da PUC Minas, Bolsista CAPES.

(2) Turismóloga, Analista Ambiental.

Contatos: [mariana.timo@gmail.com](mailto:mariana.timo@gmail.com); [carlaersa@gmail.com](mailto:carlaersa@gmail.com).

### Resumo

Em 20 de agosto de 2009 o Ministério do Meio Ambiente publicou a Instrução Normativa nº2 como diretriz para a análise dos atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos das cavidades naturais subterrâneas brasileiras e, assim, definir o grau de relevância das mesmas. Diante de algumas falhas nas diretrizes propostas nessa instrução normativa, este artigo foca nas impossibilidades referentes à análise dos atributos espeleométricos e visa, através da proposta de uma nova metodologia estatística, diminuir as falhas existentes na Instrução Normativa nº2 efetuando uma análise mais correta para os dados espeleométricos.

**Palavras-Chave:** Espeleometria; Estatística; Lognormal.

### Abstract

*On 20 August 2009 the Brazilian Ministry of the Environment published Normative Instruction n ° 2 as a guideline for analysis of ecological attributes, biological, geological, hydrological, paleontological, scenic, historical, cultural and socioeconomic cavities underground natural Brazilian and thereby define the degree of relevance thereof. Faced with some flaws in the guidelines proposed in this normative instruction, this article focuses on the analysis of the impossibilities regarding espeleométricos attributes and aims, through the proposal of a new statistical methodology to reduce the gaps in Normative Instruction n ° 2 effecting a more correct for espeleométricos data.*

**Key-Words:** *Espeleometria; Statistics; Lognormal.*

## 1. INTRODUÇÃO

No dia 7 de novembro de 2008, por meio do Decreto Nº 6.640, foram alterados os Arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescentados os Arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Essa alteração permite a proposição de uma nova metodologia para a avaliação de relevância das cavidades naturais subterrâneas brasileiras que, com o novo decreto, podem ser classificadas de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo. Esta classificação será determinada pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, que devem ser avaliados sob enfoque regional e local simultaneamente.

Os critérios que devem ser avaliados para se estabelecer o grau de relevância das cavidades foram estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente através da Instrução Normativa MMA nº 02 publicada em 20 de agosto de 2009 (IN MMA nº2/2009).

A IN MMA nº 02/2009, no seu Art. 7, itens XII, XIII e XIV, define que, para a classificação do grau de relevância de uma cavidade com importância acentuada sob enfoque local e regional, os parâmetros espeleométricos projeção horizontal, área e volume devem ser altos quando comparados com as demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica. No Art. 9, itens II, III e V, a IN MMA nº 2/2009 define que, para a classificação do grau de relevância de uma cavidade com importância significativa sob enfoque local e

regional, os parâmetros espeleométricos projeção horizontal, área e volume devem ser médios quando comparados com as demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica. Este mesmo Art., item IV, define ainda que o parâmetro desnível deve ser alto quando comparado com a mesma amostra, para a atribuição deste grau de relevância para a cavidade analisada. O Art. 10, itens V, VI e VIII, desta mesma IN define que, para a classificação do grau de relevância de uma cavidade com importância significativa sob enfoque local, os parâmetros espeleométricos projeção horizontal, área e volume devem ser altos quando comparados com as demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica e o parâmetro desnível deve ser alto quando comparado com a mesma amostra, de acordo com o item VII do mesmo Art.

O Anexo II da IN MMA nº 02/2009 estabelece a metodologia para o cálculo desses parâmetros espeleométricos, a qual será detalhada em item específico neste mesmo artigo.

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho é demonstrar a inviabilidade da metodologia proposta na IN MMA nº 02/2009 e propor uma nova metodologia para o cálculo dos parâmetros espeleométricos.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia adotada foi baseada em seis etapas principais: 1) pesquisa de dados espeleométricos disponíveis nos órgãos ambientais estaduais e federais; 2) organização do banco de dados espeleométricos da Spelayon Consultoria - ME; 3) análise estatística da aplicação da metodologia estabelecida na IN MMA nº 02/2009 para o cálculo dos dados espeleométricos utilizando os dados obtidos nas etapas 1 e 2 acima descritas; 4) pesquisa bibliográfica de outras metodologias estatísticas que se adequassem ao tipo de amostra aqui estudada; 5) aplicação das metodologias identificadas durante a etapa 4 utilizando os dados obtidos nas etapas 1 e 2 deste artigo e 6) escolha da metodologia mais adequada e proposição de nova metodologia para o cálculo dos parâmetros espeleométricos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A determinação da amostra comparativa é essencial para a representatividade do processo de análise de relevância. Sendo um processo eminentemente comparativo, quanto mais cavernas puderem ser incluídas em cada uma das classes de

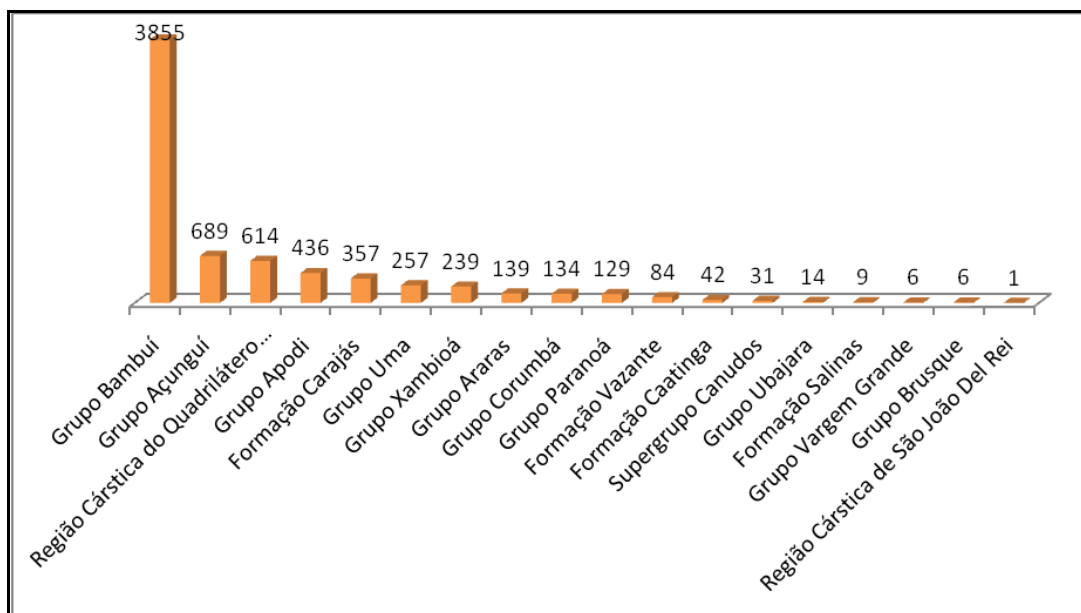
escala, mais justa será a análise final (AULER, 2006).

No Brasil, até dezembro de 2011, encontravam-se registradas na base de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, 10.137 cavidades naturais subterrâneas. Esses cadastros abrangem, principalmente, informações coletadas por grupos de espeleologia (CAVALCANTI et al., 2012). De acordo com o Banco de dados do CECAV, a Região Cárstica do Quadrilátero Ferrífero/MG possui 614 cavidades registradas, contudo, nem todas apresentam os dados espeleométricos de acordo com o exigido na IN MMA nº 02/2009. A Figura 1, baseada em dados do CECAV, apresenta o quantitativo de cavidades distribuídas por regiões cársticas brasileiras.

Deve-se considerar que muitas cavernas identificadas ainda não foram incluídas nos cadastros espeleológicos, seja porque o trabalho foi realizado no âmbito profissional, encontrando-se arquivado nas próprias empresas executoras ou nos órgãos ambientais, seja simplesmente porque não houve interesse em se efetuar o cadastramento no caso de grupos ou indivíduos amadores (PILÓ; AULER, 2011). A Tabela 1 apresenta, de forma estimada, o número de cavernas identificadas até o momento em cada litologia e o provável potencial espeleológico brasileiro (grutas existentes, porém ainda não identificadas) (PILÓ; AULER, 2011).

A amostra considerada neste artigo constitui-se de 295 cavidades naturais subterrâneas hospedadas em minério de ferro e litologias associadas localizadas na unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero. A distribuição destas cavidades na referida unidade espeleológica pode ser observada na Figura 2.

As informações sobre os dados espeleométricos da amostra foram obtidos por meio da pesquisa de dados públicos disponibilizados pelos órgãos ambientais estaduais e federais e do levantamento das cavidades cadastradas pela Spelayon Consultoria – ME, empresa de consultoria ambiental especializada em estudos espeleológicos, na região especificada até o momento da publicação deste artigo. A lista completa das cavidades, seus respectivos dados espeleométricos e a fonte de pesquisa encontram-se em anexo. Os atributos e conceitos considerados para a classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas segundo a IN MMA nº2/2009 estão descritos na Tabela 2.



**Figura 1:** Distribuição das cavernas disponibilizadas na base de dados do CECAV por região cárstica brasileira em dezembro de 2011. Modificado de Cavalcanti et al. (2012).

**Tabela 1:** Estimativa do potencial espeleológico brasileiro de acordo com a litologia. Fonte: Piló e Auler, 2011.

Litologia	Número de cavernas conhecidas	Provável potencial (cavernas ainda não conhecidas)	Porcentagem de cavernas conhecidas
Carbonatos	7.000	> 150.000	< 5%
Quartzitos	400	> 50.000	< 1%
Arenitos	400	> 50.000	< 1%
Minério de ferro	2.000	> 10.000	< 20%
Outras litologias	200	> 50.000	< 0,5%

**Tabela 2:** Atributos espeleométricos e respectivos conceitos a serem considerados para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas.

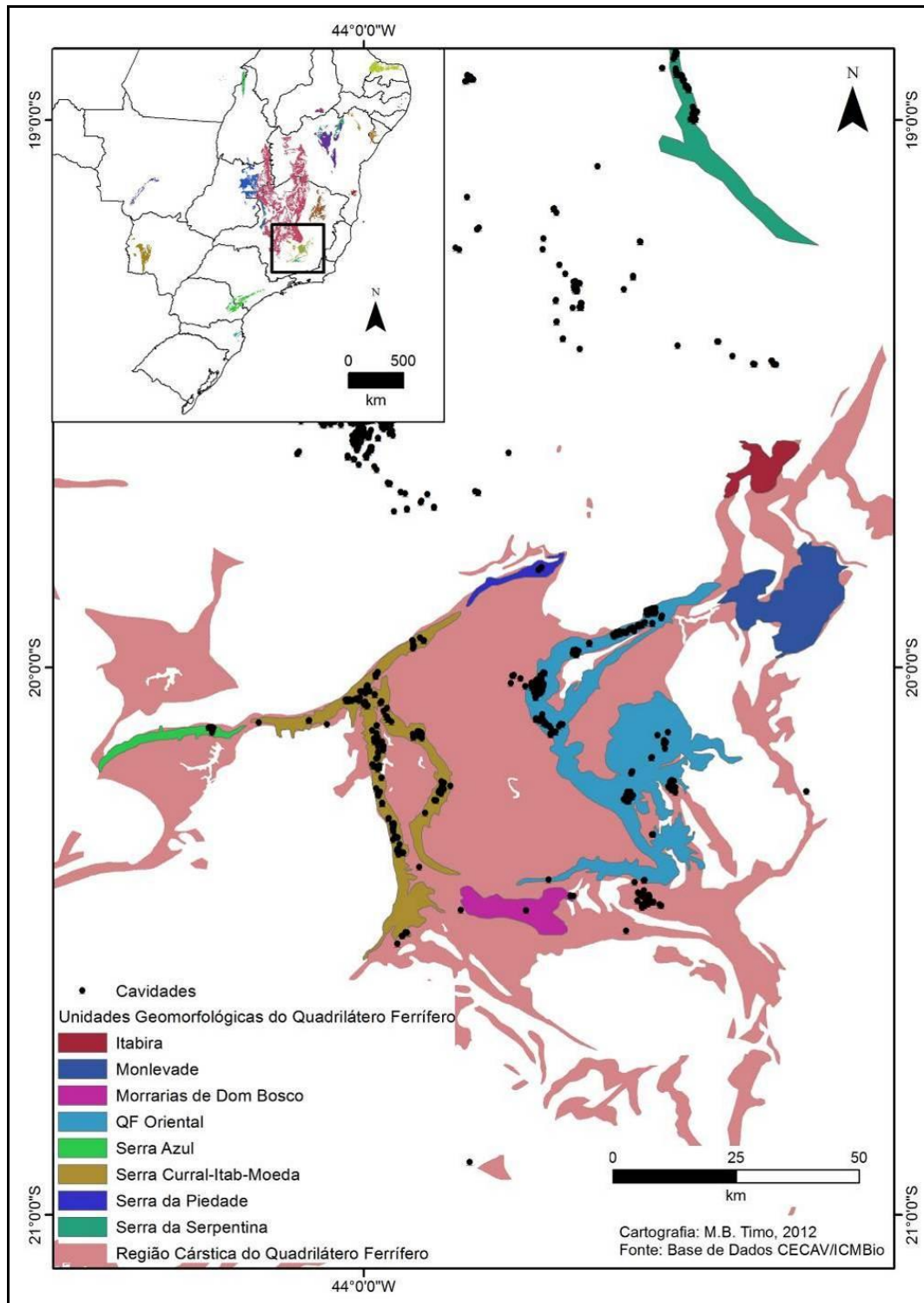
Atributo Espeleométrico	Conceito	Variável
Projeção Horizontal	Soma da projeção horizontal dos eixos de desenvolvimento da cavidade e classificação do resultado em relação à média ( $\mu$ ) [considerando o desvio padrão ( $\sigma$ ) do conjunto de dados]	Alta ( $> \mu + \sigma$ )
		Média [intervalo entre ( $\mu - \sigma$ ) e ( $\mu + \sigma$ )]
		Baixa ( $< \mu - \sigma$ )
Desnível	Diferença entre a cota do piso mais alta e a mais baixa da cavidade comparada com a média dos desníveis das demais cavidades da amostra	Alto ( $> \mu + \sigma$ )
		Baixo ( $< \mu - \sigma$ )
Área da projeção horizontal da caverna	Comparação, em superfície, da área calculada da cavidade em relação às áreas calculadas ou estimadas de outras cavidades [considerando a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) do conjunto de dados]	Alta ( $> \mu + \sigma$ )
		Média [intervalo entre ( $\mu - \sigma$ ) e ( $\mu + \sigma$ )]
		Baixa ( $< \mu - \sigma$ )
Volume	Comparação do volume da cavidade sob análise em relação aos volumes calculados ou estimados de outras cavidades [considerando a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) do conjunto de dados]	Alto ( $> \mu + \sigma$ )
		Médio [intervalo entre ( $\mu - \sigma$ ) e ( $\mu + \sigma$ )]
		Baixo ( $< \mu - \sigma$ )

Fonte: Adaptado do Anexo II da IN MMA nº 02/2009.

De acordo com a metodologia proposta na IN MMA nº 02/2009 para o cálculo dos parâmetros espeleométricos, a média de cada um dos parâmetros deve ser obtida pelo somatório dos valores de cada uma das variáveis espeleométricas (projeção horizontal, desnível, área e volume) dividido pelo número total de cavidades naturais subterrâneas da

amostra considerada.

Considerando, então, a metodologia estabelecida pela IN MMA nº 02/2009, calcularam-se as médias e os desvios padrão dos dados espeleométricos da amostra obtendo-se o resultado apresentado a seguir.



**Figura 2:** Mapa da Distribuição das cavidades de acordo com as unidades geomorfológicas da unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero.

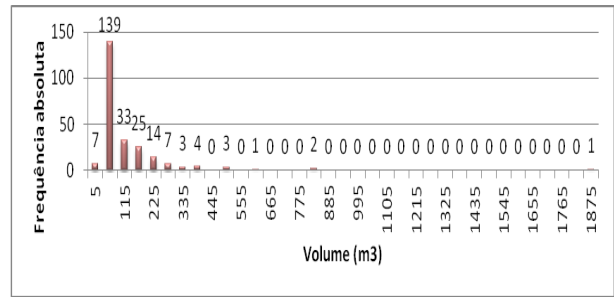
**Tabela 3:** Cálculo dos dados espeleométricos da amostra considerando a metodologia proposta na IN MMA nº02/2009.

Parâmetros Espeleométricos	Parâmetros estatísticos de (x)				Número de cavernas na classe		
	$\mu$	$\sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu - \sigma$	Baixa	Média	Alta
Proj. Horizontal	24,41	24,69	49,1	-0,29	0	252	38
Desnível	2,99	2,7	5,69	0,28	4	241	45
Área	65,41	70,02	135,43	-4,61	0	249	44
Volume	84,12	113,18	197,29	-29,06	0	257	36

Fonte: Dados da pesquisa.



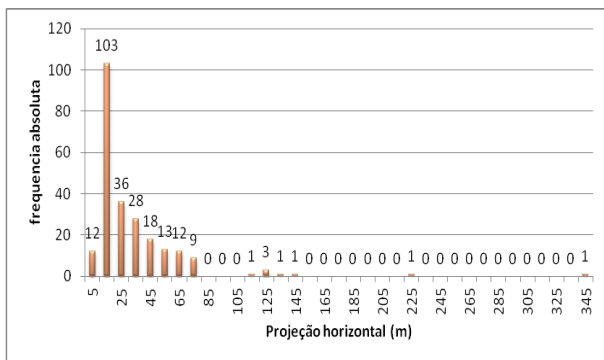
Analisando a Tabela 3, podemos observar que o desvio padrão da amostra é muito grande e seu valor numérico é maior do que a média em quase todos os parâmetros espeleométricos avaliados, o que nos leva a números negativos para o limite inferior  $[\mu - \sigma]$ . Isto se deve ao fato de que tais parâmetros não possuem uma distribuição simétrica, como pode ser observado nas figuras 03, 04, 05 e 06, as quais configuram histogramas de frequência de distribuição dos dados espeleométricos das 296 cavernas analisadas e inseridas na unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Isso significa que com tal grau de assimetria, o método proposto na IN MMA n°02/2009 não pode ser utilizado.



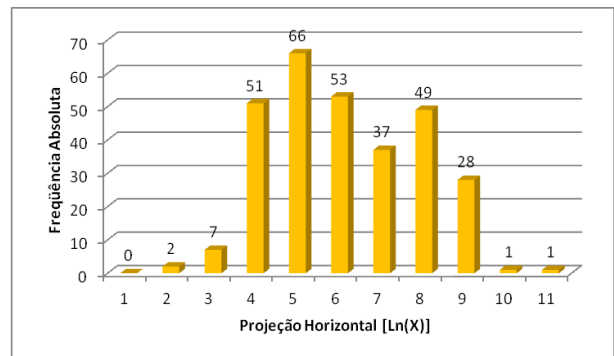
**Figura 6:** Histograma de frequência de distribuição do volume nas cavernas analisadas.

O problema de distribuições assimétricas é tratado na estatística clássica e a mais conhecida das distribuições assimétricas é a distribuição *log-normal*.

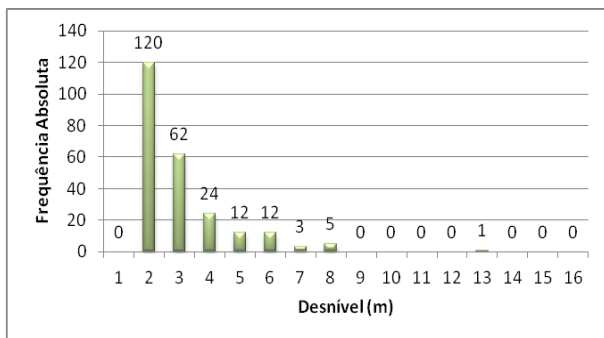
Segundo Sad; Valente (2007), uma variável  $x$  terá distribuição *log-normal* se  $\ln(x)$  tiver uma distribuição normal. Assim, para se verificar se as variáveis em estudo apresentam distribuições log-normais, foram elaborados os histogramas dos logaritmos naturais destas variáveis, nas 296 cavernas analisadas e que estão na unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, conforme apresentado nas figuras 07, 08, 09 e 10.



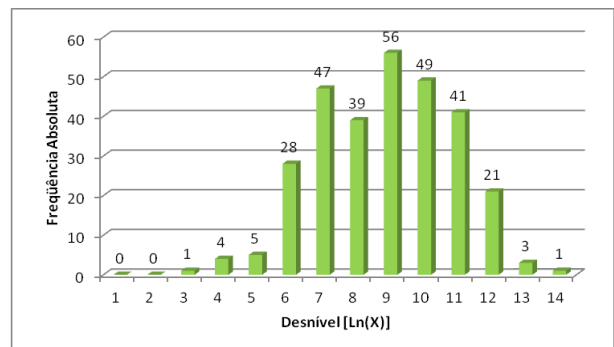
**Figura 3:** Histograma de frequência de distribuição da Projeção Horizontal nas cavernas analisadas.



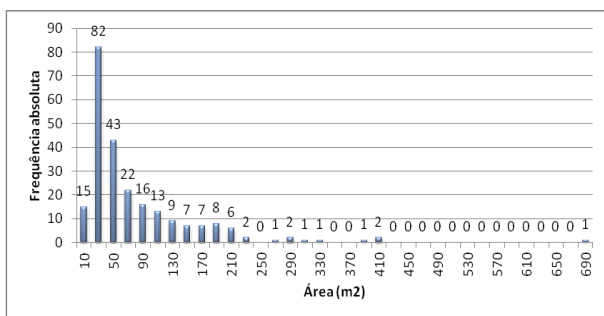
**Figura 7:** Histograma de frequência da distribuição *log-normal* da Projeção Horizontal nas cavernas analisadas



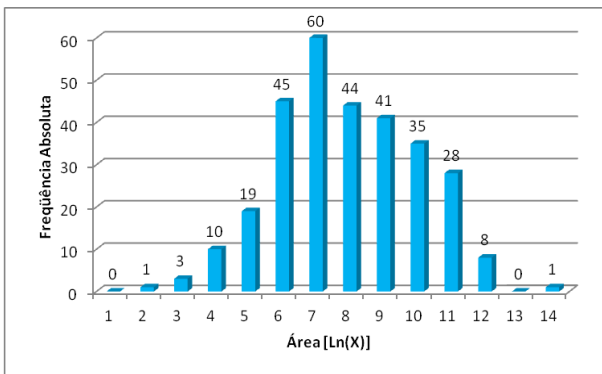
**Figura 4:** Histograma de frequência de distribuição do desnível nas cavernas analisadas.



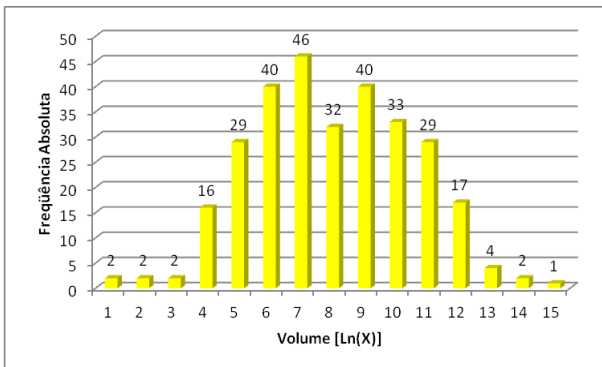
**Figura 8:** Histograma de frequência da distribuição *log-normal* do desnível nas cavernas analisadas



**Figura 5:** Histograma de frequência de distribuição da área nas cavernas analisadas.



**Figura 9:** Histograma de frequência da distribuição *log-normal* da área nas cavernas analisadas



**Figura 10:** Histograma de frequência da distribuição *log-normal* do volume nas cavernas analisadas

Verifica-se que as distribuições dos logaritmos naturais se enquadram razoavelmente no padrão de distribuição normal, o que configura a distribuição lognormal das variáveis originais.

Tomando-se por base a média e desvio padrão dos logaritmos naturais de cada uma das variáveis em análise, os limites podem ser calculados pelas expressões:

$$\text{Limite inferior} = e(\mu - \sigma)$$

$$\text{Limite superior} = e(\mu + \sigma)$$

Calcularam-se então as médias e os desvios padrão dos dados espeleométricos da amostra através da soma dos valores de cada uma das variáveis espeleométricas (projeção horizontal,

desnível, área e volume) dividido pelo número total de cavidades naturais subterrâneas da amostra considerada. O resultado obtido segue na Tabela 4.

Para certificar que as variáveis espeleométricas realmente podem ser classificadas com uma distribuição *log-normal* realizamos o teste de kolmogorov-smirnov, muito aplicado para verificar a presença ou não da *log-normalidade*, e o resultado é que 95% dos dados da amostra se enquadram na metodologia sugerida. Este resultado é animador e demonstra que o método da distribuição *log-normal* é efetivo para se obter os valores para a análise estatística dos parâmetros espeleométricos das cavidades necessários para o atendimento da IN MMA nº 02/2009.

A Figura 11 apresenta a frequência da distribuição dos dados espeleométricos das cavidades analisadas neste artigo e apresenta a comparação dos resultados obtidos através das duas metodologias aplicadas.

### 3.1 Dimensões Notáveis: Um Atributo de Relevância Máxima

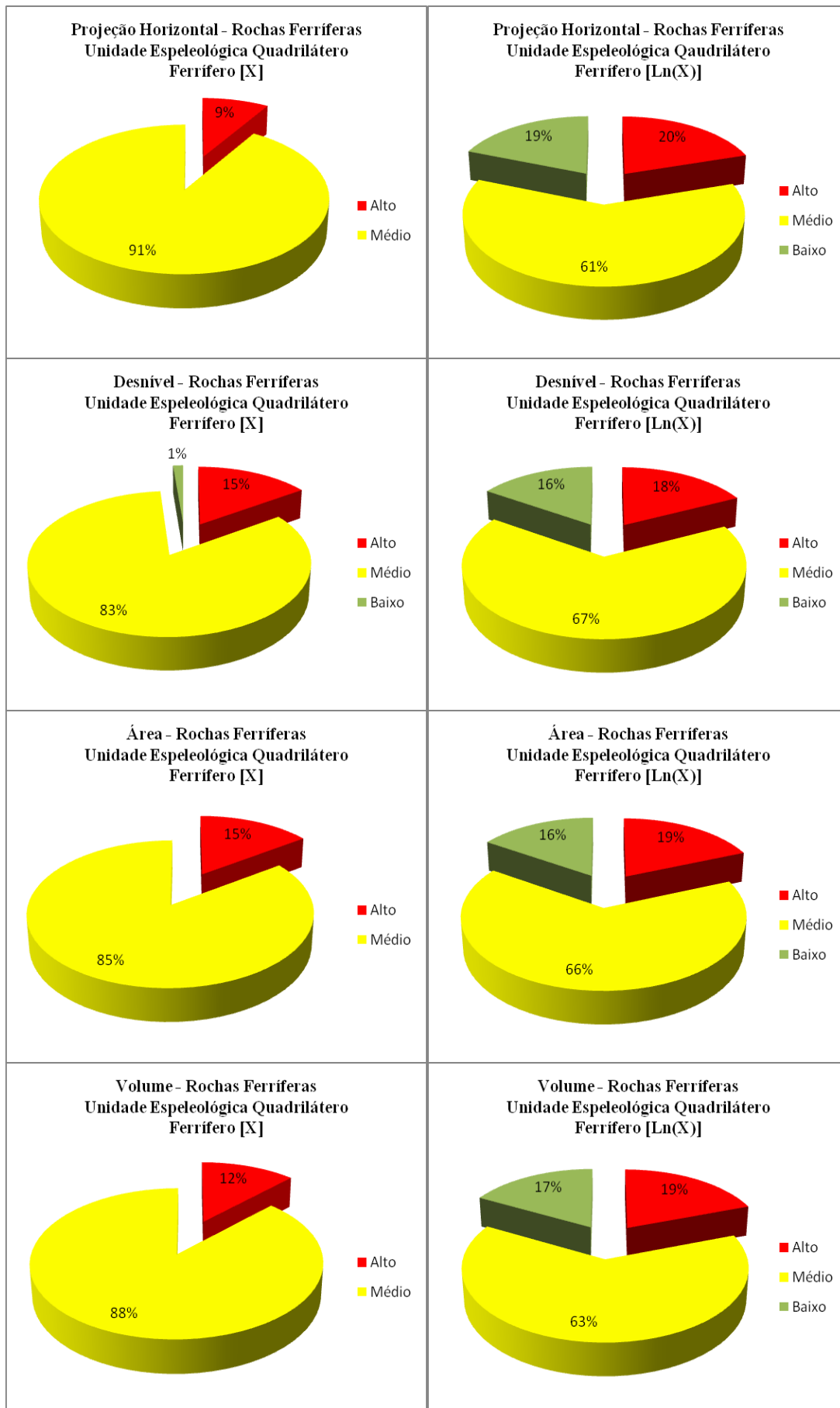
Outro atributo espeleométrico que deve ser analisado é o “Dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume” para a classificação da caverna como sendo de máxima relevância, segundo a IN MMA nº 02/2009.

Para Coelho *et al.* (2010) os valores de corte para a classificação de uma caverna como tendo dimensões notáveis correspondem à média das respectivas dimensões multiplicada por cinco. Segundo o autor, estas dimensões devem ser definidas com base na amostra regional (unidade espeleológica). O autor justifica a multiplicação da média pelo número 5 afirmando que foi feita uma análise dos dados levantados pelo mesmo e sua equipe durante sua experiência profissional e que o número 5 foi o que proporcionou a classificação mais adequada para as cavernas de relevância máxima.

**Tabela 4:** Estatística dos logaritmos considerando os parâmetros espeleométricos da unidade espeleológica regional considerada para este estudo.

Parâmetros Espeleométricos	Parâmetros estatísticos do ln(x)				Número de cavernas na classe		
	$\mu$	$\sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu - \sigma$	Baixa	Média	Alta
Proj. Horizontal	16,66	2,36	39,28	7,06	56	178	59
Desnível	2,01	2,54	5,09	0,79	46	195	52
Área	39,70	2,78	110,29	14,29	46	192	55
Volume	41,46	3,39	140,63	12,22	50	186	57

Fonte: Dados da pesquisa.



**Figura 11:** Frequência da distribuição dos dados espeleométricos das 295 cavernas da unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, considerando as duas metodologias.

Considerando a amostra analisada, calculamos o valor de corte para classificarmos as cavernas com dimensões notáveis de acordo com o método proposto por Coelho *et al.* (2010). Consideramos ainda a possibilidade do cálculo do valor de corte ser

calculado através da multiplicação por cinco da média somada ao desvio padrão calculados para a amostra regional. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5, abaixo.

**Tabela 5:** Estatística dos parâmetros espeleométricos da unidade espeleológica regional considerada para este estudo para a classificação da relevância máxima.

Parâmetros Espeleométricos	Parâmetros estatísticos do (x)		Parâmetros estatísticos do ln(x)		Número de cavernas na classe			
					(X)		Ln(X)	
	$5*\mu^1$	$5*(\mu + \sigma)^2$	$5*\mu^1$	$5*(\mu + \sigma)^2$	Máxima <sup>1</sup>	Máxima <sup>2</sup>	Máxima <sup>1</sup>	Máxima <sup>2</sup>
Proj. Horizontal	122,03	245,51	83,29	196,41	3	0	6	1
Desnível	14,93	28,43	10,04	25,46	0	0	8	0
Área	327,03	677,13	198,50	551,47	3	0	15	0
Volume	420,59	986,46	207,31	703,13	6	0	30	2

Fonte: Dados da pesquisa.

Certamente a fórmula que considera o parâmetro espeleométrico multiplicado por cinco vezes a sua média somada ao seu desvio padrão terá valores de corte maiores e, conseqüentemente, menos cavidades serão classificadas como sendo de máxima relevância ao se analisar este atributo.

Contudo, notável, segundo o dicionário Aurélio, é “Digno de atenção; que se distingue entre os demais; extraordinário; considerável; muito grande” (FERREIRA, 2012). Desta forma, maiores valores talvez sejam os mais adequados para classificar uma caverna como sendo de máxima relevância através deste atributo.

Além disso, uma unidade geomorfológica que apresente altos valores espeleométricos das cavidades pode elevar a média local. Com a média de dados espeleométricos da unidade espeleológica menor que a média da unidade geomorfológica, um grande número de cavidades seria enquadrada como sendo de relevância máxima nesta unidade geomorfológica e isto não seria o correto, visto que quando o atributo é muito desenvolvido em determinada região torna-se trivial e, portanto, sem significativa relevância nesta escala de análise.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os resultados dos dois métodos considerados para o cálculo espeleométrico, nota-se que, além do método da distribuição *log-normal* possibilitar a classificação da cavidade natural subterrânea com baixo valor em qualquer um dos quatro parâmetros espeleométricos analisados, foi possível também aumentar o número de cavidades classificadas com alto valor dos parâmetros espeleométricos.

Nota-se ainda que os valores acima e abaixo da média são bem próximos para os parâmetros espeleométricos avaliados, o que é ideal para que esta variável seja classificada como sendo *log-normal*. Isto pode ser considerado uma prova de que a metodologia é adequada.

Pode-se constatar também que o método da distribuição *log-normal* é mais conservador, pois todos os parâmetros espeleométricos tiveram seus valores de corte diminuídos quando calculados através deste método. Isto é mais um ponto favorável a esta metodologia, visto que possibilita que um maior número de cavidades seja classificado como sendo de média e alta relevância.

Quanto ao parâmetro “dimensões notáveis”, consideramos que a melhor forma de se calcular seus valores de corte seja multiplicando o somatório da média mais o desvio padrão por cinco, visto que possibilita o estabelecimento de valores de corte que realmente destaquem as cavidades com atributos espeleométricos relevantes.

Há que se ressaltar ainda que, devido a lacunas existentes no conhecimento espeleológico, o universo de cavernas utilizado como comparativo para se efetuar a análise de relevância será inevitavelmente incompleto. O principal fator que ocasiona incerteza na amostragem é a ausência de informações. Este limitante irá afetar, sobretudo, as análises em nível local, pois existem diversas áreas cársticas que não dispõem de informações mínimas sobre os atributos espeleométricos de cavernas ou mesmo sobre a mera existência de sítios espeleológicos. Alguns atributos, como área e volume, serão sujeitos a esta limitação em escala regional e local devido à dificuldade de obtenção destes parâmetros.



## REFERÊNCIAS

- AULER, A.S. **Protocolo de estudos ambientais em regiões com cavidades naturais subterrâneas e indicativos jurídicos**. PROJETO BRA/01/039 – Relatórios 1, 2 e 3. Apoio à reestruturação do Setor Energético. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, Ministério de Minas e Energia – MME, 2006. 166p
- BRASIL. **Decreto 6.640, de 07 de novembro de 2006**. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional
- BRASIL. **Instrução Normativa MMA nº 02 de 20 de agosto de 2009**. Estabelece a metodologia para a classificação de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme Decreto 6.640/2008.
- CAVALCANTI, L. F. **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Instituto Chico Mendes, 2012. 140p.
- CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base de Dados Geoespacializados das Cavernas do Brasil**. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>, acessado em 05/12/2011.
- COELHO, A.; PILÓ, L. B.; AULER, A.; BESSI, R.. **Espeleologia da Área do Projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG**. Vale. Carste Consultores Associados. Agosto, 2010.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Eritema. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Notável**. Disponível em <http://www.webdicionario.com/notavel>, acessado em 03/07/2012.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. **Introdução à Espeleologia**. III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBio/CECAV), 2011.
- POCINHO, Margarida. **Estatística, Teoria e Exercícios Passo a Passo**. Volumes I e II. 2009
- SAD, J.H.G.; VALENTE, J. M. **Delimitação de Depósitos Minerais**. Belo Horizonte, Rona Editora, 2007, p. 90-94
- SPELAYON CONSULTORIA – ME. **Relatórios Técnicos**. Empresa de consultoria especializada em espeleologia fundada em 2007 que atua no licenciamento ambiental integrado junto aos órgãos ambientais competentes, desde a licença prévia até a licença de operação.

## ANEXO

### DADOS ESPELEOMÉTRICOS DAS CAVIDADES CONSIDERADAS NESTE ARTIGO

CAVIDADE	PH (m)	DESNÍVEL (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	Fonte
CH 01	7,4	0,7	19,3	9,45	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 02	7,4	0,7	16,7	25,8	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 03	14,1	0,5	23,8	14,3	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 04	11,1	0,9	13,4	12,3	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 05	9,2	1	24,1	24,8	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 06	6,9	0,7	12,9	10,1	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 07	116	14	392	580	Escarpa Oriental do Caraça	1

CH 08	16,5	1	72	100,8	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 09	13	3,4	63	201	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 10	8,8	1,9	20,7	16,2	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 11	28,9	9	139,4	260,6	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 12	5,85	1,9	16,5	23,1	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 13	11,5	5	26,5	58,3	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 14	39	1,4	116	153	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 15	7	0,7	12	7,6	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 16	9	0,8	17	111	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 17	10,7	0,5	27,2	16,3	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 18	27	1,7	104	110	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 19	17,5	4,2	68,3	129,7	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 20	20	2,4	53	61	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 21	23	1	60	73	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 22	13,5	2	36	36	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 24	20	3,6	61	50	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 25	6,4	2,5	21	11	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 26	8,8	5	15	21	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 27	5,3	4	16	32	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 28	22,7	6,4	69,3	130,1	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 29	13	6,4	32	38	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 30	14,6	1,8	23,1	25,6	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 31	8,5	4,2	36	42	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 32	11	2,2	38	52	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 33	10	1,4	31	32	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 34	7	0,6	18,3	12,3	Escarpa Oriental do Caraça	1
CH 35	10,28	2,1	20,5	19,5	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 01	10,4	7,6	22	14	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 02	6	3	9	5	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 03	27,4	4,6	68	88	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 04	10,5	1,2	15	14	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 05	65	10,4	180	340	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 07	6	3,6	7,5	10	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 08	7,5	0,4	17	8	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 09	23	4	56	24	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 10	9,5	1,4	16	20	Escarpa Oriental do Caraça	1
FN 11	10,6	1,4	16	12	Escarpa Oriental do Caraça	1
Caverna 05	7	0,6	14,4	16,4	Quadrilátero Oeste	2
Caverna 06	61,8	3	157,6	220	Quadrilátero Oeste	2
CM 01	31	1	70	62	Quadrilátero Oeste	1
CM 02	14	1,6	25	19	Quadrilátero Oeste	1
CM 03	35	2,4	113	146	Quadrilátero Oeste	1
CM 20	15	1,6	23	14	Quadrilátero Oeste	1
CX 03	23,5	2,5	60	57	Quadrilátero Oeste	1
CX 04	45	8,5	147	132	Quadrilátero Oeste	1
CX 05	16,4	4	22	21	Quadrilátero Oeste	1

CX 06	30	4,5	88	80	Quadrilátero Oeste	1
FN 12	46,6	4,8	187	487	Quadrilátero Oeste	1
FN 13	73	14	322	780	Quadrilátero Oeste	1
FN 14	9,4	3,4	23	29	Quadrilátero Oeste	1
FN 15	6,7	0,4	9,6	8	Quadrilátero Oeste	1
MJ 01	43	3,6	162	140,7	Quadrilátero Oeste	1
MJ 02	32	1,4	45	59,6	Quadrilátero Oeste	1
MJ 03	14	2,5	18	19,9	Quadrilátero Oeste	1
MJ 04	46	6,3	97	44	Quadrilátero Oeste	1
MP 02	19,8	1,8	51,71	100,38	Quadrilátero Oeste	1
MP 03	12,5	3,25	43,1	49,3	Quadrilátero Oeste	1
MP 04	54,25	8,8	174,8	271,76	Quadrilátero Oeste	1
MP 06	10,43	1	12,95	16,59	Quadrilátero Oeste	1
MP 07	34,29	4,1	104,24	103,26	Quadrilátero Oeste	1
MP 08	122,52	9,1	302,35	336,88	Quadrilátero Oeste	1
MP 09	21	2,5	45,98	58,25	Quadrilátero Oeste	1
MP 10	64,6	3,55	194,6	185,97	Quadrilátero Oeste	1
MP 11	29,9	2,7	75,13	105,74	Quadrilátero Oeste	1
MP 12	36,23	3,4	107,05	144,84	Quadrilátero Oeste	1
MP 13	11,07	1,5	25,54	24,38	Quadrilátero Oeste	1
MP 14	12,33	0,6	28,97	13,51	Quadrilátero Oeste	1
MP 15	8,2	4,1	23,3	31,3	Quadrilátero Oeste	1
MP 16	15,7	0,85	79,35	156,32	Quadrilátero Oeste	1
MP 17	9,9	0,2	25,08	28,84	Quadrilátero Oeste	1
MS 01	18	3,4	40	90	Quadrilátero Oeste	1
MS 02	29	1	46	58	Quadrilátero Oeste	1
MS 04	33,83	8,4	103	124,63	Quadrilátero Oeste	1
MS 05	27	1,4	65	102	Quadrilátero Oeste	1
MS 07	6	0,6	26,6	25,5	Quadrilátero Oeste	2
MS 08	67,09	2,68	142,03	133,51	Quadrilátero Oeste	1
MS 08	37	5,6	128,7	130	Quadrilátero Oeste	2
MS 09	37	1,8	84	80	Quadrilátero Oeste	1
MS 09	31,8	1,4	83,3	91,2	Quadrilátero Oeste	2
MS 10	15	2,2	38	40	Quadrilátero Oeste	1
MS 10	5,2	0,6	22,3	18,7	Quadrilátero Oeste	2
MS 11	9	1	26,4	7,5	Quadrilátero Oeste	2
MS 13	47	6,4	118	156	Quadrilátero Oeste	1
MS 15	22	1,8	27	17	Quadrilátero Oeste	1
MS 17	61	6,4	180	207	Quadrilátero Oeste	1
MS 18	13	1,4	32	28	Quadrilátero Oeste	1
MS 19	109	10,4	389,3	463,27	Quadrilátero Oeste	1
MS 21/22/23	127	5,4	198	180	Quadrilátero Oeste	1
MS 24	47	1	32	30	Quadrilátero Oeste	1
MS 25	57,77	3,8	155,13	181,5	Quadrilátero Oeste	1
MS 26/27	68	3	157	200	Quadrilátero Oeste	1
MS 29	22,63	5,2	88,2	125,24	Quadrilátero Oeste	1

MS 30	45	6	138	186	Quadrilátero Oeste	1
MS 31	35,23	7,5	190,97	228,85	Quadrilátero Oeste	1
MS 32	13	0,3	30	22	Quadrilátero Oeste	1
QDF_JGD_A_CAV 0001	36,8	6,8	209	384	Quadrilátero Oeste	1
QDF_JGD_B_CAV 0001	23	3,2	59,1	104	Quadrilátero Oeste	1
QDF_JGD_B_CAV 0002	20	1	34	26	Quadrilátero Oeste	1
RM 03	33,5	1,43	134,38	200,23	Quadrilátero Oeste	1
RM 04	34,28	3,49	122,92	157,34	Quadrilátero Oeste	1
RM 08	61	3	195	377	Quadrilátero Oeste	1
RM 09	28	2,4	48	74	Quadrilátero Oeste	1
RM 10	12	1,6	22	28	Quadrilátero Oeste	1
RM 13	32	2,4	58	122	Quadrilátero Oeste	1
RM 15	30	1,2	45	71	Quadrilátero Oeste	1
RM 17	23	9	106	200	Quadrilátero Oeste	1
RM 18	28	1,2	47	45	Quadrilátero Oeste	1
RM 22	12	1	46	88	Quadrilátero Oeste	1
RM 26	25	7	47	80	Quadrilátero Oeste	1
RM 28	13	5	17	31	Quadrilátero Oeste	1
RM 31	40	2,2	55	60	Quadrilátero Oeste	1
RM 32	18	0,8	23	12	Quadrilátero Oeste	1
RM 33	68,3	2,4	220,83	351,12	Quadrilátero Oeste	1
RM 34	38	2,4	120	152	Quadrilátero Oeste	1
RM 38	56	2,4	104	146	Quadrilátero Oeste	1
RM 39	72	3,2	114	73	Quadrilátero Oeste	1
RM 40	25	2,9	45	34	Quadrilátero Oeste	1
SC 01	25	3,2	52	87	Quadrilátero Oeste	1
SC 03	49	4	90	59	Quadrilátero Oeste	1
SC 05	42	1,2	74	68	Quadrilátero Oeste	1
SC 09	42	3,4	100	140	Quadrilátero Oeste	1
SC 10	11	0,8	24	29	Quadrilátero Oeste	1
VL - 01	5,4	0,2	8,1	6,2	Quadrilátero Oeste	3
VL - 02	50	10,6	224,4	381,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 03	9,8	0,15	13	30	Quadrilátero Oeste	3
VL - 04	19,5	1,5	32	33,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 05	8,8	0,9	25	32,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 06	6,1	1	4,1	7,6	Quadrilátero Oeste	3
VL - 07	5	1	6,1	6,4	Quadrilátero Oeste	3
VL - 08	2,5	0,6	3,3	1,4	Quadrilátero Oeste	3
VL - 09	30	1,8	93,8	166,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 10	48	3,8	120,4	113,2	Quadrilátero Oeste	3
VL - 11	8	0,7	10,9	7,1	Quadrilátero Oeste	3
VL - 12	69,1	2,4	207,4	248,8	Quadrilátero Oeste	3
VL - 13	22,8	0,9	57,6	58	Quadrilátero Oeste	3
VL - 14	10,5	2,1	37,8	34,6	Quadrilátero Oeste	3
VL - 15	6,8	0,3	16,4	17,8	Quadrilátero Oeste	3

VL - 18	77	8,2	143	161	Quadrilátero Oeste	3
VL - 23	15	0,6	43	62,9	Quadrilátero Oeste	3
VL - 25	10	1,2	20,8	22,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 27	42,2	4,2	55	71,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 29	51,9	4,8	138,8	166,5	Quadrilátero Oeste	3
VL - 31	14,1	1,1	27,4	35,6	Quadrilátero Oeste	3
VL - 32	44,2	5,3	81,2	93,4	Quadrilátero Oeste	3
VL - 35	49,1	10,5	96,2	105,3	Quadrilátero Oeste	3
VL - 36	36,4	1,9	64,1	57,6	Quadrilátero Oeste	3
AP 01	14	1,6	32	38	Serra do Gandarela	1
AP 02	9	3	97,2	301	Serra do Gandarela	1
AP 03	54,3	6,6	107,6	121	Serra do Gandarela	1
AP 04	5,8	0,8	18,8	29	Serra do Gandarela	1
AP 05	8,1	1	15,9	12	Serra do Gandarela	1
AP 06	42,5	6	55	38	Serra do Gandarela	1
AP 07	17,5	1,2	28,6	24	Serra do Gandarela	1
AP 08	14,3	0,8	16	7	Serra do Gandarela	1
AP 09	218	9,6	391,6	472	Serra do Gandarela	1
AP 10	16,5	1,2	47,4	59	Serra do Gandarela	1
AP 11	14,5	0,4	31,8	33	Serra do Gandarela	1
AP 12	9,8	1,8	26,5	19	Serra do Gandarela	1
AP 13	28,8	2,2	121	165	Serra do Gandarela	1
AP 14	12	0,6	36,6	55	Serra do Gandarela	1
AP 15	34,4	3	98	235	Serra do Gandarela	1
AP 16	5	0,8	16,2	14	Serra do Gandarela	1
AP 17	7,8	1	15,5	12	Serra do Gandarela	1
AP 18	27,3	0,7	36	29	Serra do Gandarela	1
AP 19	40	2,4	49	70	Serra do Gandarela	1
AP 20	50,8	4	74	153	Serra do Gandarela	1
AP 21	56,2	4,8	210	257	Serra do Gandarela	1
AP 22	20,5	2,5	64	50	Serra do Gandarela	1
AP 23	14,7	1,5	27	31	Serra do Gandarela	1
AP 24	5,9	0,6	10	13	Serra do Gandarela	1
AP 25	36	1,7	62	43	Serra do Gandarela	1
AP 26	12,3	0,4	47,8	36	Serra do Gandarela	1
AP 27	5,1	1,7	7,4	9	Serra do Gandarela	1
AP 28	17	2,8	25,4	19	Serra do Gandarela	1
AP 29	68,6	11,6	161	240	Serra do Gandarela	1
AP 30	9	1,6	30	24	Serra do Gandarela	1
AP 31	6,8	0,3	14	8	Serra do Gandarela	1
AP 32	9,3	0,8	27	15	Serra do Gandarela	1
AP 33	9,7	1,6	21,5	27	Serra do Gandarela	1
AP 34	10,2	0,7	14	12	Serra do Gandarela	1
AP 35	8,8	1	24	16	Serra do Gandarela	1
AP 36	52	3,6	71,4	52	Serra do Gandarela	1
AP 37	27	0,3	74	65	Serra do Gandarela	1



AP 38	345	6,8	676	798	Serra do Gandarela	1
AP 39	18,2	0,6	43	86	Serra do Gandarela	1
AP 40	15,8	1,8	33	30	Serra do Gandarela	1
AP 41	9,6	6	35	21	Serra do Gandarela	1
AP 42	10,7	2	30	22	Serra do Gandarela	1
AP 43	8,9	2	13,3	11	Serra do Gandarela	1
AP 44	11,3	2	20,4	14	Serra do Gandarela	1
AP 45	16	6	55	73	Serra do Gandarela	1
AP 46	17,3	1,4	25	14	Serra do Gandarela	1
AP 47	22,2	2,8	69	82	Serra do Gandarela	1
AP 48	6,3	0,6	10,5	10	Serra do Gandarela	1
AP 52	9	2	23	20	Serra do Gandarela	1
AP 53	8,7	3,4	31	34	Serra do Gandarela	1
AP 54	7,3	1	11	9	Serra do Gandarela	1
AP 55	12,7	1	15	7	Serra do Gandarela	1
AP 56	31	5,2	86	210	Serra do Gandarela	1
AP 63	7	1,2	13	17	Serra do Gandarela	1
AP 64	7	1,4	18	14	Serra do Gandarela	1
AP 65	33,4	8	94	154	Serra do Gandarela	1
AP 66	20,3	4	104	117	Serra do Gandarela	1
SG 02	48,8	1	136,7	202	Serra do Gandarela	1
SG 07	51,4	1,1	185	314,5	Serra do Gandarela	1
SG 10	44,8	2,5	169,1	253,6	Serra do Gandarela	1
SG 15	120	9	190	156	Serra do Gandarela	1
SG 16	68,4	5,8	157	219	Serra do Gandarela	1
SG 20	43,8	2,4	82	55	Serra do Gandarela	1
SG 32	30,7	9,6	86,6	84	Serra do Gandarela	1
SG 37	58,5	14	215	215	Serra do Gandarela	1
SG 43	53	8,4	170	127	Serra do Gandarela	1
SG 51	55,6	4,8	179	286,4	Serra do Gandarela	1
MO-02	17,63	2,29	31,37	22,9	Serra Azul	2
MO-03	5,88	0,52	5,32	4,62	Serra Azul	2
MO-04	9,34	0,40	16,48	9,55	Serra Azul	2
MO-05	19,04	7,10	67,92	82,18	Serra Azul	2
MO-06	14,11	4,60	22,53	16,22	Serra Azul	2
MO-09	4,85	0,69	6,71	7,04	Serra Azul	2
MO-11	10,52	1,96	45,42	28,16	Serra Azul	2
MO-13	6,04	1,91	10,38	8,09	Serra Azul	2
MO-14	9,36	7,30	36,07	44	Serra Azul	2
MO-16	6,23	5,22	43,09	34,9	Serra Azul	2
MO-17	9,22	3,48	44,16	36,65	Serra Azul	2
MO-19	5,02	5,38	13,28	9,29	Serra Azul	2
WP 44	50,92	25,21	222,62	1729,75	Serra Azul	2
WP 65	15,06	5,04	18,3	20,49	Serra Azul	2
CAV NOVA	4,73	0,59	8,59	11,08	Serra Azul	2
WP 95	12,71	0,84	39,56	43,91	Serra Azul	2

WP 133	11,08	5,98	12,55	67,39	Serra Azul	2
WP 160	11,46	2,19	40,51	98,84	Serra Azul	2
WP 45	8,95	1,54	22,48	14,83	Serra Azul	2
WP 55	7,57	0,68	12,94	20,18	Serra Azul	2
WP 64	5	2,68	4,6	9,75	Serra Azul	2
WP 77	15,6	9,97	13,03	60,71	Serra Azul	2
WP 79	8,7	3,53	12,47	92,02	Serra Azul	2
WP 80	7,89	3,56	6,27	17,49	Serra Azul	2
WP 93	4,26	0,11	16,12	37,72	Serra Azul	2
WP 97	13,32	4,2	39,61	46,73	Serra Azul	2
WP 98	6,07	1,33	9,69	13,75	Serra Azul	2
WP 131	6,52	0,53	24,54	26,91	Serra Azul	2
WP 145	14,8	5,85	18,43	43,49	Serra Azul	2
WP 155	14,34	5,75	80,58	145,04	Serra Azul	2
WP 169	18,64	4,41	172,19	400,34	Serra Azul	2
WP 87	10,48	3,11	35,49	41,87	Serra Azul	2
WP 96	14,04	6,39	42,92	78,82	Serra Azul	2
WP 130	7,26	1,03	48,87	129,99	Serra Azul	2
WP 146	18,69	9,25	43,91	269,16	Serra Azul	2
WP 165	9,13	2,62	71,24	370,44	Serra Azul	2
WP 63	4,6	5,71	19,65	23,97	Serra Azul	2
WP 142	11,77	4,04	30,07	120,28	Serra Azul	2
WP 147	8,11	0,15	25,19	45,09	Serra Azul	2
MO-07	5,08	4,65	10,67	7,25	Serra Azul	2
MO-08	4,5	0,3	7,68	3,45	Serra Azul	2
MO-10	6,17	0,82	20,46	12,68	Serra Azul	2
MO-12	7,26	1,17	10,51	13,24	Serra Azul	2
MO-15	10,49	2,22	22,86	15,31	Serra Azul	2
MO-18	5,73	1,87	9,14	15,35	Serra Azul	2
A-01	26,8	4	91,2	25,6	Serra Azul	2
A-02	4,2	0,6	4,1	2,7	Serra Azul	2
A-03	4	1,2	5,1	3,3	Serra Azul	2
A-04	3,8	1	5	6,2	Serra Azul	2
A-05	6	0,8	5,6	6,3	Serra Azul	2
A-06	22	3	43,4	25,54	Serra Azul	2
A-13	3	0,8	2,6	4,6	Serra Azul	2
A-14	6,4	2	7,5	6,6	Serra Azul	2
Abrigo AVG – 12	4,8	1,2	17,5	7,3	Serra Azul	2
Abrigo das Formigas	6	0,8	13,9	6,2	Serra Azul	2
AVG-02	55	2,4	287,14	54,8	Serra Azul	2
AVG-03	18,4	2	51,5	22,7	Serra Azul	2
AVG-03 A	5	1	6,7	1,5	Serra Azul	2
AVG-03 B	8,8	1,2	23,8	8,5	Serra Azul	2
AVG-04 – Gruta das Formigas	60,4	2,2	276,6	23,2	Serra Azul	2
AVG-05 – Gruta da Água Benta	67	1,4	264,2	35,8	Serra Azul	2

AVG-05 - Sul	33,8	2,2	129,1	24,38	Serra Azul	2
AVG-05 A	10	0,6	33,8	15,4	Serra Azul	2
AVG-06 A Sul	2,4	1	10,6	7,6	Serra Azul	2
AVG-06 Sul	7	0,6	31,4	14	Serra Azul	2
AVG-07 - Sul	6,2	1,2	16,3	10,7	Serra Azul	2
AVG-07 A Norte	5	0,6	33,8	15,4	Serra Azul	2
AVG-07 Norte	4,2	0,6	15,5	5,6	Serra Azul	2
AVG-08 – Sul	34,4	5	83,8	39,1	Serra Azul	2
AVG-08 A - Sul	6,8	0,4	15,4	11,06	Serra Azul	2
AVG-09	3,6	0,6	4,5	2	Serra Azul	2
AVG-12	73,2	2,8	178,8	41,6	Serra Azul	2
AVG-13	7	1	22,9	9	Serra Azul	2
AVG-14	49	2,6	146,5	60,3	Serra Azul	2
Gruta Triangulo	11,4	3,4	34,7	27,3	Serra Azul	2

**Fluxo editorial:**

Recebido em: 22.10.2012

Aprovado em: 14.01.2013



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).  
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

[www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp](http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp)