

PROPOSTA PARA A DETERMINAÇÃO DE CAVERNAS DE DIMENSÕES NOTÁVEIS EM CAVERNAS FERRÍFERAS

Gilberto Nicacio

Instituto Tecnológico Vale - ITV - Desenvolvimento Sustentável

E-mail: gilnicacio@gmail.com

Allan Calux

*Vale S/A - Diretoria de Planejamento de Ferrosos - Gerência de Espeleologia
Instituto de Geociências da USP – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental*

E-mail: allan.calux@vale.com

Amanda Queiroz de Paula

Vale S/A - Diretoria de Planejamento de Ferrosos - Gerência de Espeleologia

E-mail: amandaqueirozdepaula@gmail.com

Iuri V. Brandi

Vale S/A - Diretoria de Planejamento de Ferrosos - Gerência de Espeleologia

E-mail: iuri.brandi@vale.com

Clóvis Wagner Maurity

Instituto Tecnológico Vale - ITV - Desenvolvimento Sustentável

E-mail: clovis.maurity@itv.org

José O. Siqueira

Instituto Tecnológico Vale - ITV - Desenvolvimento Sustentável

E-mail: jose.oswaldo.siqueira@itv.org

Rodolfo Jaffé

Instituto Tecnológico Vale - ITV - Desenvolvimento Sustentável

E-mail: rodolfo.jaffe@itv.org

RESUMO

Com o intuito de contribuir com a definição de uma metodologia adequada para a seleção de excepcionais dimensionais, no presente trabalho: 1) Comparou-se diferentes metodologias para estabelecer a categoria “dimensões notáveis” utilizando uma amostra de 1451 cavernas ferríferas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil; 2) Avaliou-se diferentes distribuições de probabilidade, de forma a determinar o melhor ajuste das medidas espeleométricas; e 3) Avaliou-se por meio de simulações a influência da assimetria na distribuição dos dados sobre as diferentes metodologias utilizadas para definir a categoria “dimensões notáveis”. Os resultados mostram que os diferentes métodos resultam em um número distinto de cavidades classificadas como de máxima relevância por dimensões notáveis. Conforme encontrado em trabalhos anteriores, as análises revelam que as variáveis espeleométricas utilizadas seguem uma distribuição log-normal. Finalmente, as simulações indicam que maioria dos métodos empregados são influenciados pelo grau de assimetria da distribuição dos dados. Com base nestes resultados, sugere-se o método de quartis como o mais indicado para estabelecer dimensões notáveis, já que ele foi o único que não foi influenciado pela assimetria na distribuição dos dados.

Palavras-chave: critérios de relevância, relevância máxima, cavidades subterrâneas, dimensões notáveis, Carajás.

PROPOSAL FOR THE DETERMINATION OF CAVES WITH OUTSTANDING DIMENSION IN IRON CAVES

ABSTRACT

In order to contribute establish an adequate methodology to select caves with outstanding dimensions, here we: 1) Compared different methods to establish the category "outstanding dimensions" using a sample of 1451 iron caves from Serra dos Carajás, Pará, Brazil; 2) Evaluated different probability distributions to determine the best fit for cave size data; and 3) Assessed through simulations the influence of the data's distribution asymmetry on the different methods used to define "outstanding dimensions". The results show that the different methods result in a varying number of cavities classified with maximum relevance by outstanding dimensions. In addition, the analysis performed reveal that iron cave size data follow a log-normal distribution. Finally, our simulations indicate that most of the methods employed to establish outstanding dimensions are influenced by the data's distribution asymmetry. Based on these results, the quartiles method is suggested as the most suitable to establish caves with outstanding dimensions, since it was the only one that was not influenced by the data's distribution asymmetry.

Keywords: caves, outstanding dimension, Carajás.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a legislação brasileira vigente qualquer atividade potencialmente geradora de impactos negativos sobre as cavidades naturais subterrâneas deve ser precedida de um processo de licenciamento ambiental (Decreto Nº 6.640/2008). Considerando a importância socioambiental do tema, nas últimas décadas diversos atos normativos foram elaborados para regular a execução de atividades/empreendimentos que possam impactar negativamente os ecossistemas cavernícolas (Berbert-Born, 2010). Inicialmente a Resolução Conama nº5/1987 criou o Programa Nacional de Proteção do Patrimônio Espeleológico, o qual delegava aos empreendimentos mineradores a disponibilização de informações sobre a presença de sítios arqueológicos, fósseis e cavernas nas áreas de atuação. Com a necessidade da realização de diagnósticos sobre a situação do patrimônio espeleológico, o Decreto 99.556/1990 (alterado pelo Decreto nº 6.640/2008) determinou a necessidade de elaboração de estudos de impactos ambientais prévios à implantação de empreendimentos. Finalmente, em 2012 é publicada a Portaria ICMBio 32/2012 que cria o Comitê Técnico Consultivo, órgão colegiado consultivo com a incumbência de acompanhar e avaliar a aplicação da IN MMA 2/2009, nos processos de licenciamento ambiental.

Conforme previsto no Decreto 6.640/2008, o Ministério do Meio Ambiente publica a Instrução Normativa nº2/2009, que regulamentou a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas baseada na análise de atributos biológicos, geológicos e culturais, avaliados sob enfoque local e regional. O grau do impacto permitido segundo este normativo é inversamente proporcional ao grau de relevância da cavidade, sendo que cavernas de alta, média e baixa relevância podem ser impactadas irreversivelmente (IN MMA 1/2017; IN MMA 4/2017). No entanto, cavernas consideradas como de máxima relevância não poderão sofrer qualquer impacto irreversível em sua estrutura ou em seu equilíbrio ambiental. Além disso, devem ser protegidas considerando a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de

duzentos e cinquenta metros (CONAMA resolução nº 347/2004; IN MMA 2/2017; IN MMA 4/2017).

É notável a evolução histórica da legislação federal na tentativa de aprimoramento das regras técnicas existentes para o uso e proteção do patrimônio espeleológico brasileiro. Apesar disso, diversos estudos ainda destacam a falta de consenso e o recorrente debate em relação à classificação de relevância das cavidades no que diz respeito a metodologia adequada para alocação destas na categoria de máxima relevância considerando as dimensões dos seus atributos físicos (Berbert-Born, 2010; Trajano & Bichuette, 2010; IC, 2012; Scoss et al., 2013; De Oliveira-Galvão & Da Costa Neto, 2013; Auler & Piló, 2015; Jaffé et al., 2016). Estes estudos destacaram as dificuldades para a interpretação dos resultados de estimadores estatísticos que justificam a classificação das cavernas de máximo grau de relevância.

Um exemplo desta problemática é a falta de consenso para a determinação dos valores de “dimensões notáveis em extensão, área e volume”. Embora as medidas espeleométricas que determinam a categorização de dimensões notáveis estejam padronizadas (projeção horizontal, área e volume), ainda não há consenso quanto aos estimadores estatísticos que devem ser aplicados na análise destes atributos para determinação dos limites dos valores dessas medidas. Por esse motivo, estudos espeleológicos têm utilizado diversos critérios para estabelecer dimensões notáveis a partir de resultados empíricos de relatórios de empreendimentos (IC, 2012; Timo & Acácio, 2012; Scoss et al. 2013; Azevedo & Bernard, 2015). No entanto, esta prática pode incorporar subjetividade à avaliação, uma vez que a influência da distribuição dos dados espeleométricos sobre os estimadores empregados para determinar as dimensões notáveis ainda não foi avaliada (Scoss et al. 2013).

Com o intuito de contribuir com a definição de uma metodologia adequada para a seleção de excepcionalidades dimensionais, no presente trabalho: 1) Comparou-se diferentes metodologias para estabelecer a categoria “dimensões notáveis” utilizando uma amostra de 1451 cavernas hospedadas em rochas ferríferas e litologias associadas na Província Espeleológica de Carajás, Pará, Brasil; 2) Avaliou-se diferentes distribuições de probabilidade, de forma a determinar o melhor ajuste das medidas espeleométricas; e 3) Avaliou-se por meio de simulações a influência da assimetria na distribuição dos dados sobre as diferentes metodologias utilizadas para definir a categoria “dimensões notáveis”.

2. METODOLOGIA

2.1. AMOSTRA DE CAVERNAS

A amostra de cavernas considerada neste estudo constitui-se de 1451 cavernas situadas na Unidade Espeleológica de Carajás e hospedadas em rochas ferríferas e litologias associadas (Figura 1; Tabela A - Apêndice). Esta unidade regional situa-se no sudeste do Pará e é compreendida pela província mineral de Carajás, cujo padrão de relevo é marcado pela presença de serras de topos aplainados, denominados de Planaltos Residuais do Sul da Amazônia. Seus limites são os terrenos homoganeamente arrasados: a sul a depressão de Rio Maria, a norte a depressão de Bacajá, a leste a depressão Goiana-Paraense; e a oeste pela depressão do Xingu. A região apresenta grande similaridade geoespeleológica e bioespeleológica entre as cavidades, o que corrobora com a consolidação regional da Província Espeleológica de Carajás (Valentim & Olivito, 2011).

2.2. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAR DIMENSÕES NOTÁVEIS

Aplicou-se métodos paramétricos e não paramétricos para definir as excepcionalidades dimensionais, incluindo as metodologias empregadas em relatórios de espeleologia e as especificadas na legislação.

2.3. ESTIMADORES PARAMÉTRICOS

Utilizaram-se dois métodos paramétricos baseados na média e no desvio padrão de cada variável espeleométrica (projeção horizontal, área e volume), conforme estabelecido na IN MMA 02/2009. O primeiro método paramétrico aplicado seguiu uma proposta consenso avaliada no Workshop “*Espeleometria: métodos, definições e limites*” (IC, 2012), que consiste em aplicar um operador de cinco vezes à média da amostra regional. O segundo método consistiu em considerar o limite da média ± 2 desvios padrão (Zar, 2010).

2.4. ESTIMADORES NÃO PARAMÉTRICOS

Avaliou-se os estimadores baseados em diferentes valores de corte para cada variável espeleométrica considerando a mediana, desvio absoluto mediano (MAD - *median absolute deviation*) e o intervalo interquartil (IQR - *Interquartile Range*) de cada variável espeleométrica. O primeiro método não paramétrico aplicado também seguiu a proposta da IN MMA 2/2017, que consiste em aplicar um operador de oito vezes à mediana da amostra regional. Outros limites consistiram na aplicação de quatro modelos clássicos de cálculos de valores extremos em conjuntos de dados: mediana + 3(MAD); percentil de 95% ($\geq Q95$); $Q3+1.5*IQR$ e $Q3+3*IQR$. O desvio médio absoluto (MAD = mediana ($|x_i-x_m|$)) é calculado como a mediana do valor absoluto de cada valor, x_i , menos a mediana de x , onde x_m é o valor médio do grupo. A variação interquartil, IQR, é definida como $Q3-Q1$: o primeiro quartil (ou quartil inferior), $Q1$, é definido como o valor que possui um valor-f igual a 0,25. Isso é a mesma coisa que percentil vinte e cinco. O terceiro quartil (ou quartil superior), $Q3$, possui um valor-f igual a 0,75. (Barnett & Lewis, 1994).

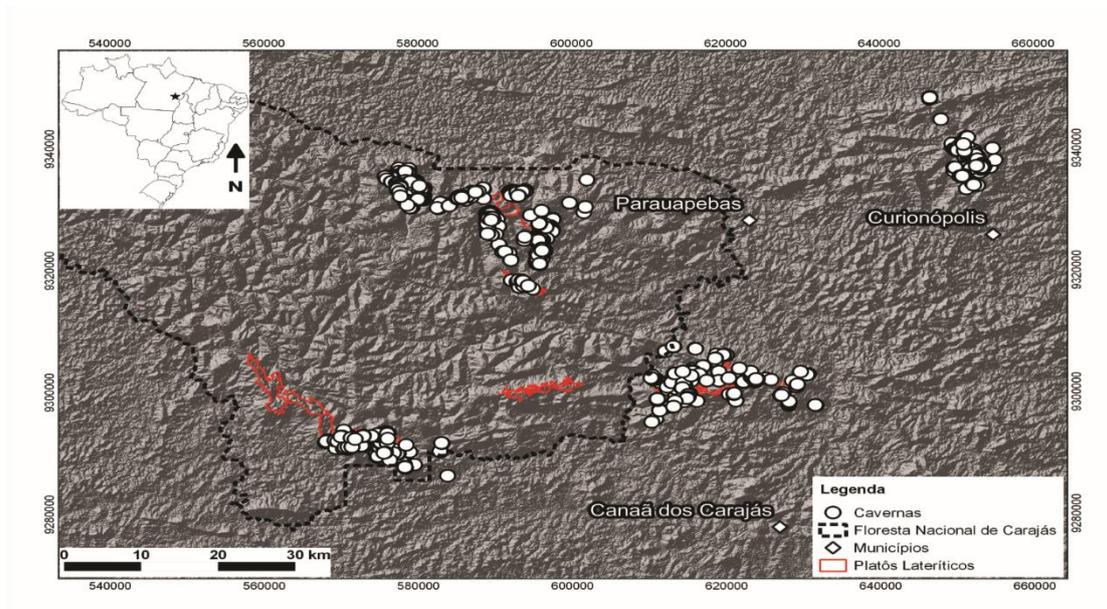


Figura 1. Mapa da Distribuição das 1451 cavidades situadas na Unidade Espeleológica de Carajás no Estado do Pará, Brasil.

2.5. AJUSTE DE DISTRIBUIÇÕES E SIMULAÇÕES

Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2017). Primeiramente, determinou-se a distribuição de probabilidade que mais se ajustava às medidas espeleométricas observadas (Projeção Horizontal, Área e Volume). Para isto, diferentes distribuições foram testadas (*Cauchy*, *Exponencial*, *Gamma*, *Logística*, *Log-normal*, *Normal*, *t* e *Weibull*) e comparadas utilizando a máxima verossimilhança (*log-likelihood*) com o pacote *MASS* (Venables & Ripley, 2002). Uma vez determinada a distribuição com o melhor ajuste, simularam-se distribuições com quatro graus de assimetria (sem assimetria, assimetria leve, assimetria moderada e alto grau de assimetria) utilizando-as para comparar as respostas das diferentes metodologias para estabelecer a categoria “dimensões notáveis”. Para cada grau de assimetria simularam-se 10.000 distribuições com 1.000 observações. Os comandos (*script*: *dimnotaveis.R*) e pacotes (*doBy*, *ggplot2*, *gridExtra*, *MASS*, *reshape2*) utilizados no *software* R estão disponíveis nos documentos suplementares.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um desafio importante para a conservação das cavidades naturais subterrâneas é otimizar os critérios propostos pela legislação federal para determinação de cavidades com dimensões notáveis, de forma a diminuir a atual subjetividade resultante da falta de consenso nos métodos empregados (IC, 2012). Esse consenso é fundamental para priorizar a conservação de cavernas com dimensões notáveis, já que elas têm mostrado serem importantes refúgios de biodiversidade, possuindo uma maior riqueza de espécies e um maior número de espécies troglóbias (Culver, 2004; Simões et al., 2015, Jaffé et al. 2016).

Em geral, os métodos paramétricos (baseados na média e no desvio padrão da população de dados) são adequados unicamente em conjuntos de dados com uma distribuição normal, enquanto os métodos não paramétricos, por fazerem nenhuma ou poucas suposições sobre as distribuições originais, são os mais indicados para avaliação das variáveis com distribuições não-normais (Reimann & Filzmoser, 2000; Gibbons &

Chakraborti, 2011). Analisando os dados reais, nenhuma das medidas espeleométricas avaliadas mostrou ter uma distribuição normal (Figura 2), corroborando com as observações de Curl (1960) sobre a ausência de normalidade da distribuição de medidas espeleométricas. Em todos os casos a distribuição com o melhor ajuste foi a log-normal (Tabela 1). De fato, outros estudos com conjuntos de dados espeleométricos têm ressaltado a distribuição *lognormal* como modelo para análises de dados espeleométricos (Timo & Acácio, 2012; Scoss, 2013).

A comparação das diferentes metodologias para estabelecer dimensões notáveis mostrou uma proporção diferente de cavidades com dimensões notáveis, sendo que os métodos que consideraram a mediana e o IQR resultaram na maior proporção de cavernas com dimensões notáveis (Figura 3). De fato, por serem pouco afetados pela presença de valores extremos no conjunto de dados, estes métodos apresentam valores de corte inferiores em comparação com aqueles dos métodos baseados na média e no desvio padrão (Barnett, & Lewis, 1994).

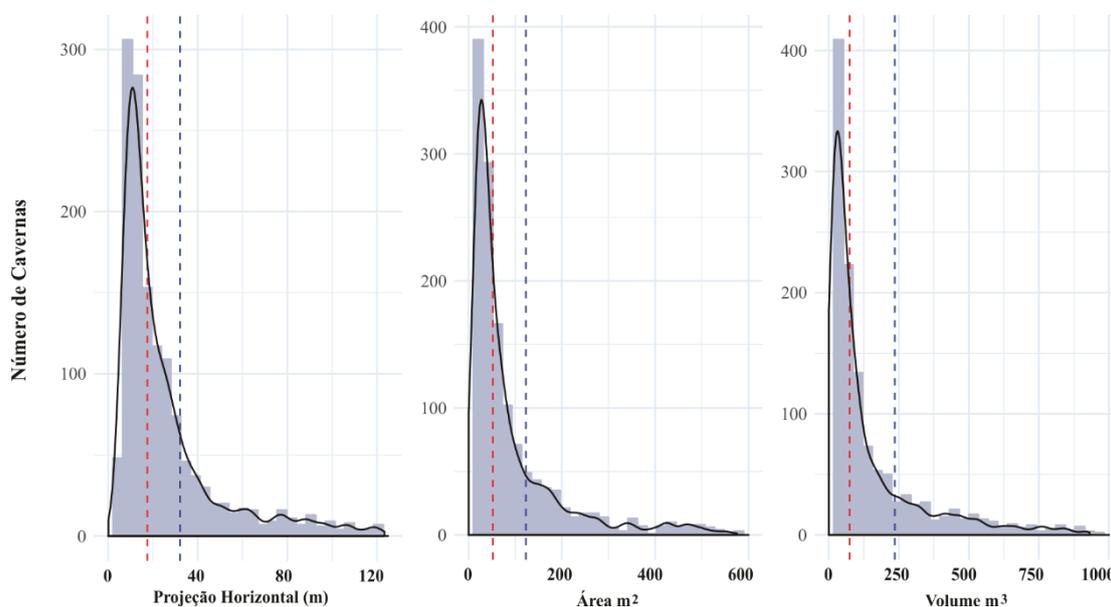


Figura 2. Histograma de frequência de distribuição das medidas espeleométricas (projeção horizontal, área e volume) da unidade espeleológica regional de Carajás. A linha tracejada vermelha representa a mediana e a linha tracejada azul representa a média do conjunto de dados. Para melhor visualização da distribuição dos dados, os valores acima dos limites apresentados foram removidos dos gráficos

As simulações de distribuições log-normais com quatro graus diferentes de assimetria revelaram a influência da assimetria sobre as diferentes metodologias testadas para estabelecer a categoria de dimensões notáveis. Observou-se que a maioria dos métodos empregados foi influenciada pelo aumento do grau de assimetria da distribuição dos dados, como resultado foi observado o aumento na proporção de valores potencialmente considerados como notáveis (Figura 4).

Entre os métodos, os que consideraram o valor da mediana e do intervalo interquartil (IQR) mostraram acentuado aumento na proporção de valores notáveis de acordo com o aumento no grau de assimetria da população de dados. Por outro lado, os métodos “Quartil 95 (Q95)”, “média + 2 x desvio padrão (sd)”, e “5x média” foram os menos afetados pelo grau de assimetria da distribuição dos dados. Dentre eles, o “Q95” foi o único método que não apresentou variação na proporção de observações com valores notáveis.

Tabela 1. Ajuste de diferentes distribuições às variáveis espeleométricas.

Distribuição	Log-verossimilhança		
	Projeção Horizontal	Área	Volume
<i>Log-normal</i>	-6609*	-8748*	-9591*
<i>Gamma</i>	-6895	-9009	-9867
<i>Weibull</i>	-6920	-8968	-9775
<i>Exponencial</i>	-6920	-9023	-10014
<i>Cauchy</i>	-6961	-9219	-10215
<i>t</i>	-7486	-9915	-11050
<i>Logística</i>	-7566	-9963	-11157
<i>Normal</i>	-8392	-10514	-11853

*Maior valor de *log-verossimilhança*

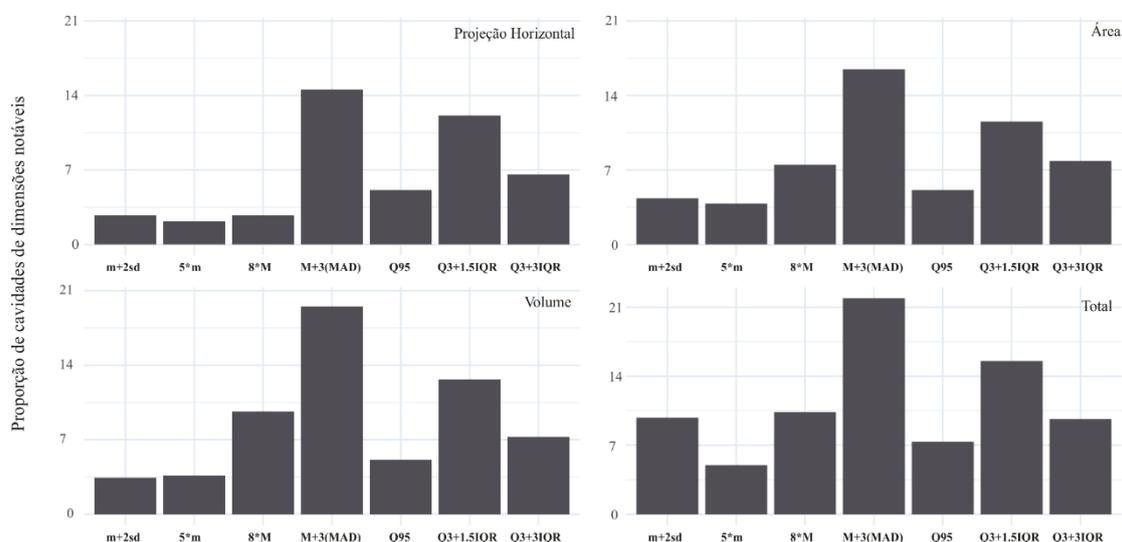


Figura 3. Comparação das metodologias utilizadas para classificar as cavidades com dimensões notáveis. As barras mostram a proporção de cavidades potencialmente classificadas na categoria de dimensões notáveis (máxima relevância) para Projeção Horizontal, Área, Volume e o Total (considerando as três medidas espeleométricas). m = média; sd = desvio padrão; M = mediana; MAD = desvio absoluto da mediana; IQR = intervalo interquartil.

Considerando que os métodos pouco ou não afetados pela assimetria do conjunto de dados são mais robustos, as simulações indicam que os métodos “Q95” e “5*média” seriam os mais adequados para estabelecer excepcionalidades dimensionais. No entanto, é ressaltado que o método “5*média” é um método paramétrico e, portanto, não indicado para descrever dados não-normais (a média somente é um parâmetro informativo de dados com distribuição normal). Embora apenas o emprego do “Q95” tenha sido avaliado neste estudo, metodologias baseadas em quartis (Q97, Q90, etc.) são similares, e o ponto de corte arbitrário deve ser estabelecido pelo órgão regulatório.

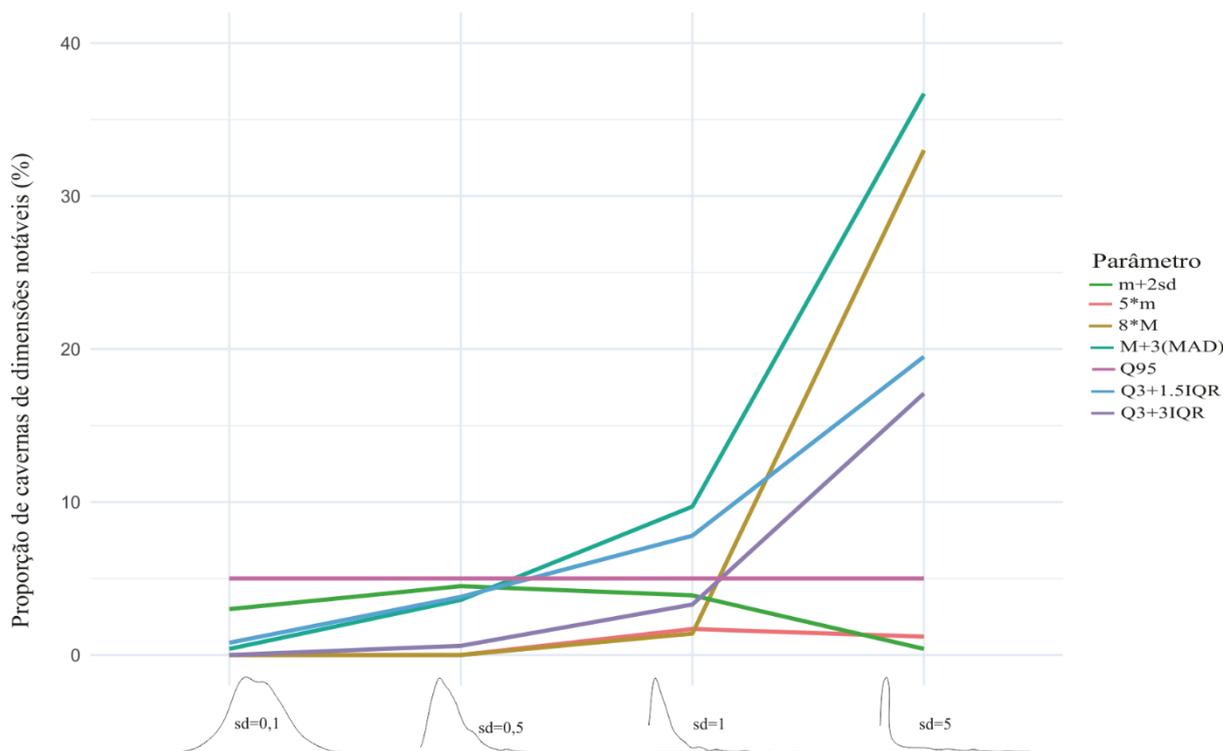


Figura 4. Influência da assimetria da distribuição de dados sobre as diferentes metodologias para estabelecer a categoria de dimensões notáveis. A proporção (%) de cavernas classificadas com dimensões notáveis (máxima relevância) por cada metodologia é representada para quatro graus de assimetria. 10000 distribuições log-normais com 1000 observações cada uma foram simuladas para cada grau de assimetria. m = média; sd = desvio padrão; M = mediana; MAD = desvio absoluto da mediana; IQR = intervalo interquartil.

A aplicação de qualquer método para estabelecer dimensões notáveis deve ser executada com base em um conjunto de dados com ampla suficiência amostral e que garanta boa representatividade das cavidades no contexto regional, como estabelecido na IN 02/2009 (Trajano & Bichuette, 2010). Os dados espeleométricos analisados também apresentaram distribuições log-normais no nível das unidades geomorfológicas (Figura A - Apêndice). Foi observada variação nos valores da média e mediana entre as diferentes unidades geomorfológicas, indicando que o ponto de corte para estabelecer excepcionalidades dimensionais seria diferente para cada conjunto de dados (Anexo A). Assim, o conjunto completo de dados avaliados (juntando todas as unidades geomorfológicas) pode ser considerado robusto para estabelecer dimensões notáveis de acordo com o previsto na IN 02/2009.

4. CONCLUSÕES

O presentenosso trabalho mostra que para definir as excepcionalidades dimensionais (dimensões notáveis) em cavernas de ferro, diferentes métodos geram resultados distintos, e, portanto, resultam em um número diverso de cavidades classificadas com máxima relevância por este atributo. Adicionalmente, as análises revelam que as variáveis espeleométricas utilizadas não seguem uma distribuição normal, sendo que a distribuição melhor ajustada é a log-normal. Finalmente, as simulações aplicadas indicam que maioria dos métodos empregados foram influenciados pelo grau de assimetria da distribuição dos dados. Os métodos “Q95”, “média+2sd” e “5*média” mostraram ser menos influenciados pela assimetria dos dados, embora “Q95” seja o único que não foi afetado. Com base nestes resultados,

sugere-se que o método de quartis como o mais indicado para estabelecer dimensões notáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Gerência de Espeleologia da Vale por ter facilitado o acesso aos dados espeleométricos das 1451 cavidades aqui analisadas. O projeto foi financiado pelo Instituto Tecnológico Vale e por uma bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI-B) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Nº do processo: 380535/2017-3).

REFERÊNCIAS

AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Caves and Mining in Brazil: The Dilemma of Cave Preservation Within a Mining Context. In: ANDREO, B.; CARRASCO, F.; DURÁN, J. J.; JIMÉNEZ, P.; LAMOREAUX, J. W. *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems*. Berlim: Springer, 2015. p. 487-496.

AZEVEDO, I. S.; BERNARD, E. Avaliação do nível de relevância e estado de conservação da caverna “meu rei” no Parna Catimbau, Pernambuco. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 1, n. 5, p. 1-23, 2015.

BARNETT, V.; LEWIS, T. *Outliers in statistical data*. 3 ed. New York: Wiley, 1994. 608p.

BERBERT-BORN, M. Instrução Normativa MMA 02/2009 - método de classificação do grau relevância de cavernas aplicado ao licenciamento ambiental: uma prática possível. *Espeleo-Tema*, v. 21, n. 1, p. 67-103, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 05 de 06 de agosto de 1987. Dispõe sobre o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, e dá outras providências.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE –CONAMA. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.

Curl, R. L. (1960). Stochastic Models of Cavern Development. *Bulletin of the National Speleological Society*, 22(Part 1), 66-75.

CULVER, D. C.; CHRISTMAN, M. C.; ŠEREG, I.; TRONTELJ, P.; SKET, B. The location of terrestrial species-rich caves in a cave-rich area. *Subterranean Biology*, v. 2, 27-32, 2004.

DE OLIVEIRA-GALVÃO, A.L.C.; DA COSTA NETO, J.F. Proposta de procedimento metodológico para avaliação do nível de relevância de cavidades naturais subterrâneas. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v. 1, n. 3, p. 19-34, 2013.

GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. Nonparametric Statistical Inference. In: LOVRIC, M. *International Encyclopedia of Statistical Science*. Berlim: Springer, 2015. p. 977-979.

INSTITUTO DO CARSTE - IC. Espeleometria: métodos, definições e limites. In: *Workshop Técnico Científico*. Belo Horizonte: Instituto do Carste, 2012. p. 21.

JAFFÉ, R.; PROUS, X.; ZAMPAULO, R.; GIANNINI, T. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; MAURITY, C.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I. V.; SIQUEIRA, J. O. Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities. *PLOS ONE*, v. 11, n. 12, p. e0168348, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Instrução Normativa 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.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Instrução Normativa 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.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Instrução Normativa nº 01 de 24 de janeiro de 2017. Estabelece procedimentos para definição de outras formas de compensação ao impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, conforme previsto no art. 4º, § 3º do Decreto nº 99.556, de 1º outubro de 1990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Instrução Normativa nº 02 de 30 de agosto de 2017. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Instrução Normativa nº 04 de 20 de setembro de 2017. Acrescenta o art. 5-A à Instrução Normativa nº 1, de 24 de janeiro de 2017 (Processo nº 02667.010071/2016-88).

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology*, v. 39, n. 9, p. 1001-1014, 2000.

SCOSS, L.; DIAS, C.; BRANDI, I. Transformação e interpretação de dados espeleométricos para análise de relevância de cavidades. In: 32º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. *Resumos do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Barreiras: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2013. p. 299-306.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology*, v. 16, p. 103-121, 2015.

TIMO, M. B.; ACÁCIO, C. E. R. S. Proposta de metodologia para cálculo estatístico de dados espeleométricos de acordo com a Instrução Normativa Nº 2 do Ministério do Meio Ambiente. *Espeleo-Tema*, v. 23, n. 2, p. 43-58, 2012.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Relevância de cavernas: porque estudos ambientais espeleobiológicos não funcionam. *Espeleo-Tema*, v. 21, p. 105- 112, 2010.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. *Espeleo-Tema*, v. 22, n. 1, p. 41-60, 2011.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*. 4 ed. New York: Springer, 2002. 498p.

ZAR, J. H. *Biostatistical Analysis*. 5 ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 2010. 663p.