



35<sup>o</sup>  
Bonito - MS

ANAIS do 35<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Espeleologia  
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br).

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

REZENDE, A.F. et al. Análise estatística do monitoramento sismográfico de cavidades em formações ferríferas. Minas de N4 e N5, Carajás, Brasil. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.38-44. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe\\_038-044.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_038-044.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

# **ANÁLISE ESTATÍSTICA DO MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO DE CAVIDADES EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS - MINAS DE N4 E N5 - CARAJÁS, BRASIL.**

*STATISTICAL ANALYSIS OF THE SEISMOGRAPHIC MONITORING OF CAVES IN IRON FORMATIONS - N4 AND N5 MINES - CARAJÁS, BRAZIL.*

**Adimir Fernando REZENDE (1); Rafael Guimarães DE PAULA (2); Marcelo Roberto BARBOSA (2); Leandro Alves Caldeira LUZZI (2); Iuri Viana BRANDI (2)**

(1) Brandt Meio Ambiente  
(2) Vale S/A

**Contatos:** [arezende@brandt.com.br](mailto:arezende@brandt.com.br); [rafael.guimaraes@vale.com](mailto:rafael.guimaraes@vale.com); [marcelo.roberto.barbosa@vale.com](mailto:marcelo.roberto.barbosa@vale.com); [leandro.luzzi@vale.com](mailto:leandro.luzzi@vale.com); [iuri.brandi@vale.com](mailto:iuri.brandi@vale.com).

## **Resumo**

O monitoramento sismográfico de cavidades naturais subterrâneas, além de atender a legislação ambiental brasileira vigente, contribui para a sustentabilidade das atividades de mineração e a proteção do patrimônio espeleológico. O acompanhamento dos desmonte de rochas com uso de explosivos em regiões de cavidades é de fundamental importância, possibilitando um melhor planejamento de lavra, sem comprometer a integridade física das cavidades. Este trabalho foi desenvolvido nas minas de ferro N4 e N5 em Carajás durante o monitoramento sismográfico de cavidades, previsto no Plano Básico Ambiental. Serão apresentadas as principais variáveis que devem ser consideradas neste tipo de monitoramento, para cavidades em formações ferríferas, e o resultado de análise estatística, onde foram identificadas as variáveis mais significativas nas correlações com a variável sismográfica selecionada - velocidade de vibração de partícula.

**Palavras-Chave:** Carajás; cavidades naturais; monitoramento sismográfico.

## **Abstract**

*The seismographic monitoring of underground natural caves, is required by the current brazilian environmental legislation and contributes to the sustainability of mining activities and the protection of the speleological heritage. The follow-up of blasting operations with explosives in cave regions allow better mining planning without compromising the physical integrity of the caves. This work was developed in the iron mines N4 and N5 in Carajás during the seismographic monitoring of caves, foreseen in the Basic Environmental Plan. The main variables to be considered in this type of monitoring will be presented, for caves in ferrous formations, as well as the results of statistical analysis, where the most significant variables were identified in the correlations matrices with the selected seismic variable – vibration particle velocity.*

**Keywords:** Carajas; natural caves; sismographic monitoring.

## **1. INTRODUÇÃO**

As atividades de monitoramento espeleológico são previstas pela legislação ambiental brasileira, e fazem parte de Planos Básicos Ambientais (PBA) para acompanhar o comportamento de cavidades em áreas de mineração. O monitoramento sismográfico é um dos monitoramentos integrantes do PBA.

Estas cavidades estão inseridas em um perfil de intemperismo dentro do contexto de relevos dissecados e cobertas por crostas ferruginosas endurecidas. Nessas regiões, é frequente a ocorrência de cavidades nas cornijas e/ou paredes de bordas de platôs (Gonçalves *et al.*, 2016).

A prática de detonação com o uso de explosivo para desmonte de rochas em atividades de mineração, ou mesmo em obras urbanas, tem sido usada ao longo do tempo para a otimização dos custos e aumento do ritmo de produção. No entanto, é fonte emissora de ondas sísmicas, registradas por sismógrafos, e pode representar potencial de dano à integridade física de cavidades. Esta possibilidade de danos é entendida aqui como sendo de aspectos relacionados à sua morfologia original, suas formações secundárias (espeleotemas, ou sedimentos clásticos), bem como ainda piso, paredes e tetos (Santos Junior, 2017).

De acordo com a literatura, existem muitas variáveis que devem ser consideradas em monitoramentos sismográficos de uma maneira geral, algumas facilmente controláveis (cargas de explosivos, distâncias, posição topográfica e outras) e algumas de controles mais complexos (anisotropia das rochas, aspectos estruturais, graus de intemperismo e outras). Neste trabalho, realizado nas minas de ferro N4 e N5 em Carajás, foram comparadas as matrizes de correlação das variáveis, selecionadas como as mais significativas para o monitoramento sismográfico de cavidades ferríferas. Esta comparação tentou buscar o entendimento de qual (is) a (s) variável (is) que mais influenciavam nas vibrações sismográficas.

Os autores entendem que este estudo poderá contribuir no planejamento de mina e no estabelecimento de planos de fogo mais ajustados à medida que as operações se aproximam dos locais de ocorrência de cavidades, nesse caso para cavidades no perfil intempérico de formações ferríferas, todo esse estudo esta relacionado a um tipo de material: Formações ferríferas e seus perfis de alteração.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A região de Carajás está localizada no sudeste do estado do Pará e apresenta um conjunto de serras de topo aplainado (platôs) com altitude média de 650m. Esses platôs se destacam por apresentar uma expressiva ocorrência de cavidades em suas bordas como resultado dos processos de dissecação do relevo. A área de estudo localiza-se em Serra Norte, mais precisamente nos platôs N4 e N5, em três minas de ferro denominadas N4E, N4WS e N5S, no município de Parauapebas (Figura 1).

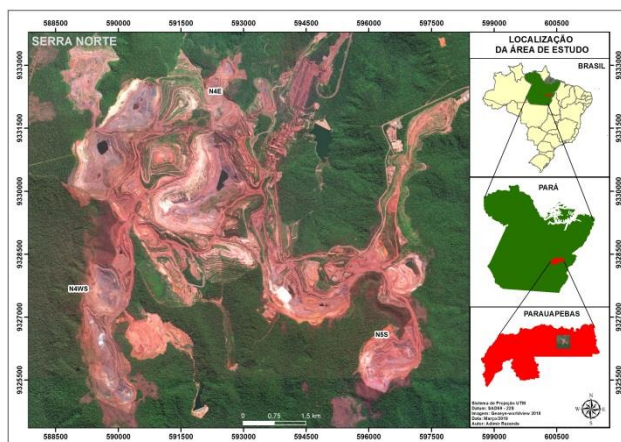


Figura 1: Localização da área de estudo.

## 3. METODOLOGIA

Foram selecionadas 18 cavidades estrategicamente distribuídas pelas 3 minas (8 cavidades em N5S, 7 cavidades em N4WS e 3 cavidades em N4E) para monitoramento sismográfico contínuo, seguindo o critério de maior proximidade das diversas frentes de lavra. Este monitoramento foi efetuado no período de maio de 2014 a novembro de 2017, quando foram obtidos 2.758 registros sismográficos, provenientes de 1.720 desmontes de rocha com uso de explosivos (Figura 2).

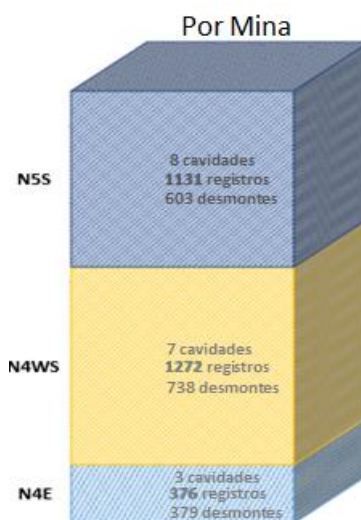


Figura 2: Distribuição dos dados por mina.

Com o uso do software *Blastware*, versão 10.74, (Instantel), foi gerado um sismograma para cada registro sismográfico e selecionada a variável velocidade de vibração de partícula ( $V_p$ ), como sendo a variável principal a ser correlacionada com as demais variáveis.

Foram utilizados 13 sismógrafos de engenharia, sendo 10 do modelo micromate, da canadense Instantel, e 3 modelos EZ Pluz da americana Geosonics (Figura 3).



Figura 3: Sismógrafos utilizados nos estudos.



Os sismógrafos utilizados atendem aos requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT 9653/2018, e possuem sistema de verificação interna por pulso eletrônico (auto checagem), memória para armazenamento de eventos sísmicos, e registra instantaneamente os valores de velocidade de vibração de partícula nas três direções mutuamente perpendiculares, longitudinal/radial, transversal e vertical (L, T, V). As calibrações foram feitas por empresas certificadas, tendo ambos sido configurados para registrarem eventos sísmicos de 0,51 mm/s até 254 mm/s, na faixa de frequência a partir de 2 Hz e 4Hz.

Os sismógrafos foram instalados no interior das cavidades com a fixação dos geofones sempre no teto com uso de gesso, (Figura 4). O uso de gesso, além de provocar menos impacto no local durante a instalação e remoção, testes de laboratório comprovaram que a transmissão da energia é melhor do que a fixação por parafusos (GOULART, 2014). Nesse contexto, a instrução normativa 9653/2018 da ABNT, também orienta para o uso de gesso ou outro material adesivo, para que os sensores fiquem o mais perfeitamente solidário ao meio de propagação.



**Figura 4:** Geofone fixado no teto da cavidade com uso de gesso.

### 3.1 Variáveis selecionadas

Os tipos de variáveis (mais ou menos controláveis), que participam nos resultados de propagação das ondas sísmicas em maciços rochosos são amplamente divulgadas na literatura (Silva, 2012, Opperman et.al., 2015 e Santos Junior, 2017). As variáveis consideradas no presente trabalho fazem parte desta literatura, e foram selecionadas como as mais significativas para serem acompanhadas durante o longo período de monitoramento.

A partir dos planos de fogo fornecidos pela equipe de desmonte de rochas, foram obtidas as variáveis, carga máxima por espera (CME), carga

total (CT) e diâmetro dos furos (Diam). Já as variáveis distância (Distância), área do polígono desmontado (Área), e a cota do local do desmonte (Cota), foram fornecidas pela área de planejamento de mina da mineradora responsável pelas minas de N4 e N5. Na tabela 1 são apresentados detalhes de todas as variáveis deste estudo, as quais serão correlacionadas com a variável sismográfica, Velocidade de Vibração de Partícula (Vp).

**Tabela 1:** Detalhe das variáveis selecionadas.

Sigla	Descrição	Un	Forma de Aquisição	Responsável
Vp	Velocidade de partícula resultante	mm/s	Sismógrafo	Equipe de Espeleologia
Distancia	Distância entre a área do desmonte e a cavidade	m	Calculada com software GIS	Equipe de Espeleologia
Area	Área do polígono de desmonte	m <sup>2</sup>	Plano de lavra	Equipe de Curto Prazo
Cota	Cota topográfica do desmonte	m	Plano de fogo	Equipe de Desmonte
CT	Carga total de explosivos	Kg	Plano de fogo	Equipe de Desmonte
CME	Carga máxima por espera	Kg	Plano de fogo	Equipe de Desmonte
Diam	Diâmetro dos furos	Polegada	Plano de fogo	Equipe de Desmonte

### 3.2 Tratamento estatístico

Foram elaboradas matrizes de correlação entre as variáveis envolvidas no monitoramento sismográfico de cavidades, para entendimento de quais delas mais influenciavam a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp). Foi utilizada a linha da estatística descritiva pelo coeficiente de correlação de Pearson (r), amplamente utilizada neste tipo de análise.

Segundo Vargas, 2019, o coeficiente de correlação de Pearson (r) ou coeficiente de correlação produto-momento ou o r de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0 inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra "r" assume apenas valores entre -1 e 1.

$r = 1$  Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

$r = -1$  Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.

$r = 0$  Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

No entanto, pode existir uma outra dependência que seja "não linear". Assim, o resultado  $r=0$  deve ser investigado por outros meios.

Como parâmetro de interpretação do Coeficiente de Pearson ( $r$ ), foi utilizada a metodologia e classificação desenvolvida por Shimakura (2006), atribuindo um valor qualitativo aos valores numéricos de coeficiente (Figura 5).

Valor de $\rho$ (+ ou -)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

**Figura 5:** Atribuição de valores qualitativos aos valores numéricos (fonte: Shimakura, 2006).

Todo o tratamento estatístico foi desenvolvido no *software R*, com pacote *corrplot*, que promove uma exibição gráfica e intervalo de confiança, com o método de visualização denominado "number".

#### 4. RESULTADOS

Foram geradas cinco matrizes de correlação, para entender o comportamento da velocidade de vibração de partícula em relação às demais variáveis.

A primeira matriz foi elaborada com todo o conjunto de variáveis, considerando todos os desmontes sem limites de distância até as cavidades. Quatro outras matrizes foram geradas segmentadas por faixas de distâncias, em intervalos de 50m, iniciando com os desmontes em 250m, aproximando-se até 50m da cavidade, (250-200m, 200-150m, 150-100m, e 100-50m).

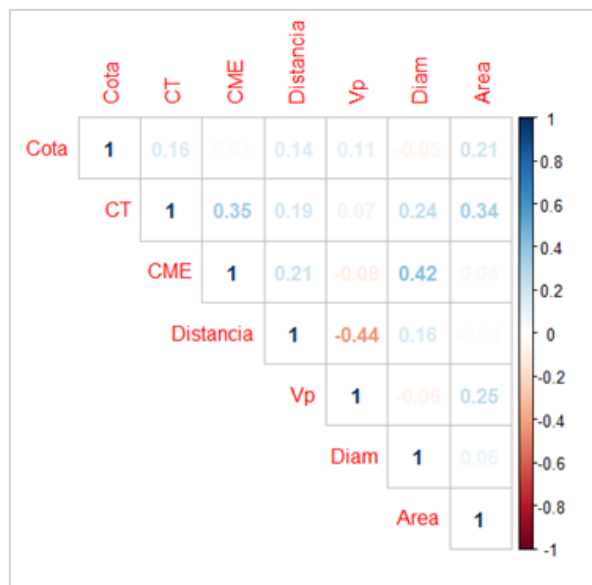
Ressalta-se que a variável distância é considerada entre o centróide do polígono de desmorte, e a localização do ponto de medição, (geofone), instalado na cavidade.

##### 4.1 Matriz considerando todos os desmontes sem limite de distância das cavidades monitoradas

Ao realizar essa análise com todas as variáveis de forma integrada, verificou-se que, de uma maneira geral, as correlações são fracas entre si. Olhando-se especificamente para a variável sismográfica; Velocidade Vibração de Partícula (Vp), nota-se uma correlação negativa moderada apenas com a variável distância, coerente com a realidade e com o postulado de que a amplitude de uma onda sísmica decresce com o inverso da distância da fonte". (IAG - USP, 2019).

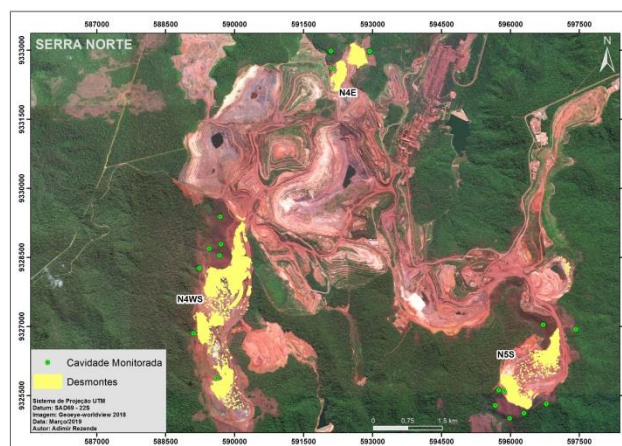
A Figura 6 mostra a matriz com as correlações fracas em função da análise de todas as

variáveis de forma integrada e sem limite de distância.



**Figura 6:** Matriz de correlação das variáveis analisadas de forma integrada e sem limite de distância. Notar a correlação negativa moderada (-0,44) entre a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp) e a Distância.

A figura 7 mostra a localização das cavidades monitoradas e os locais dos desmontes sem limites de distâncias.

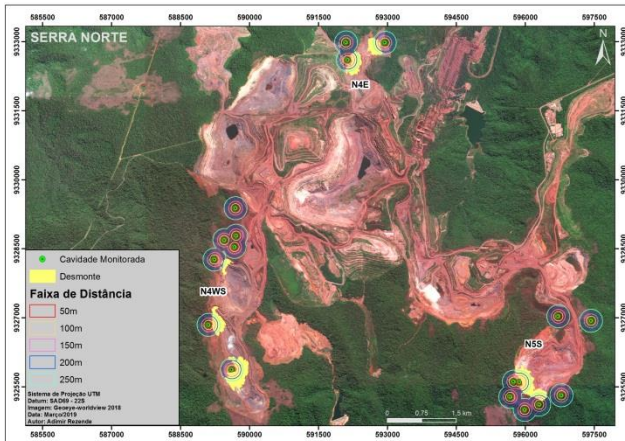


**Figura 7:** Localização das cavidades monitoradas e os locais dos desmontes sem limites de distâncias.

##### 4.2 Matrizes considerando apenas desmontes dentro de faixas entre 250 e 50m das cavidades monitoradas (faixas em intervalos de 50m)

Tendo em vista as correlações fracas observadas entre as variáveis, quando analisadas sem limites de distâncias, entre os desmontes e as cavidades monitoradas, foram então feitas segmentações por faixas de distância, iniciando com os desmontes em 250m, aproximando-se até 50m

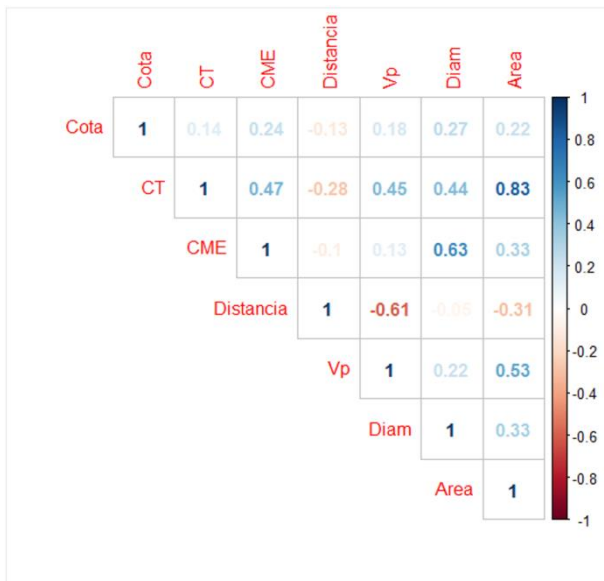
das cavidades monitoradas (faixas de 250-200m, 200-150m, 150-100m, e 100-50m) (Figura 8).



**Figura 8:** Desmontes dentro das faixas de distância iniciando em 250m até 50m das cavidades monitoradas (faixas de 250-200m, 200-150m, 150-100m, e 100-50m).

### 4.3 Matriz considerando apenas desmontes dentro da faixa entre 250 e 200m das cavidades monitoradas

Ao realizar essa análise com uma menor distância das cavidades (faixa de 250 a 200m), verificou-se que, de uma maneira geral, as correlações melhoraram passando a moderadas entre si. Olhando-se especificamente para a variável sismográfica Velocidade Vibração de Partícula (Vp), nota-se uma correlação igualmente negativa moderada com a variável distância, e uma correlação positiva moderada com a carga total, com este último já demonstrando que a carga total de explosivos passa a interferir levemente nos resultados sismográficos (Figura 9).

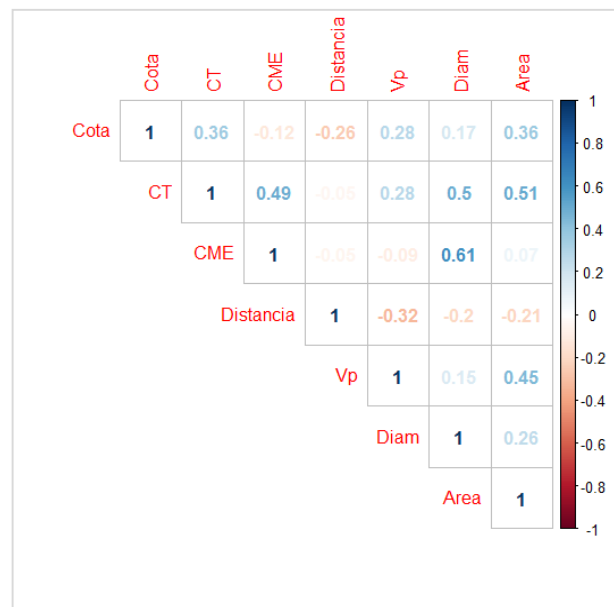


**Figura 9:** Matriz de correlação considerando os desmontes dentro da faixa entre 250 e 200m das cavidades monitoradas. Notar a correlação positiva

moderada (0,45) entre a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp) e a Carga Total e negativa moderada (-0,61) com a Distância.

### 4.4 Matriz considerando apenas desmontes dentro da faixa entre 200 e 150m das cavidades monitoradas

Ao realizar essa análise com uma menor distância das cavidades, (faixa de 200 a 150m), verificou-se que, de uma maneira geral, as correlações continuam moderadas entre si. Olhando-se especificamente para a variável sismográfica Velocidade Vibração de Partícula (Vp), nota-se uma correlação voltando a ser fraca, porém mantendo a relação negativa inversa com a variável distância, e uma correlação também fraca direta com carga total (Figura 10).

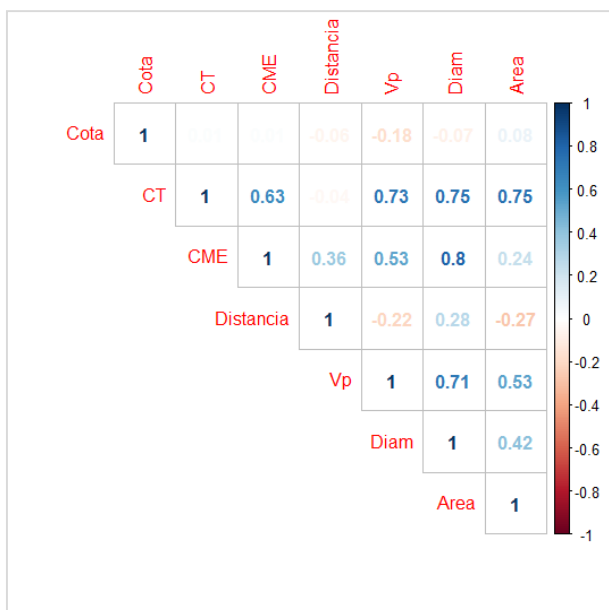


**Figura 10:** Matriz de correlação considerando os desmontes dentro da faixa entre 200 e 150m das cavidades monitoradas. Notar a correlação negativa fraca (-0,32) entre a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp) e a Distância.

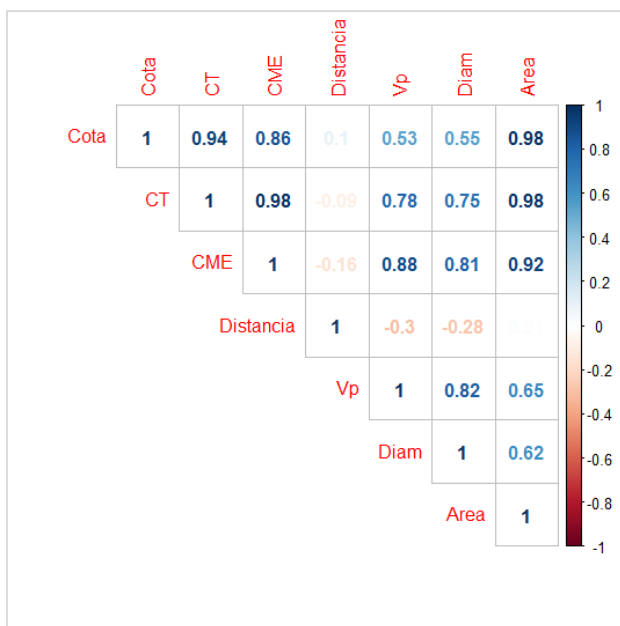
### 4.5 Matriz considerando apenas desmontes dentro da faixa entre 150 e 100m das cavidades monitoradas

Ao realizar essa análise com uma menor distância das cavidades, (faixa de 150 a 100m) verificou-se que, de uma maneira geral, as correlações melhoraram passando a fortes entre si. Olhando-se especificamente para a variável sismográfica Velocidade Vibração de Partícula (Vp), nota-se uma correlação passando a forte direta com carga total, demonstrando que a carga total de explosivos passa a interferir substancialmente nos resultados sismográficos (Figura 11).





**Figura 11:** Matriz de correlação considerando os desmontes dentro da faixa entre 150 e 100m das cavidades monitoradas. Notar a correlação positiva forte (0,73) entre a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp) e a Carga Total e positiva moderada (0,53) com a Carga Máxima por Espera (CME).



**Figura 12:** Matriz de correlação considerando os desmontes dentro da faixa entre 100 e 50m das cavidades monitoradas. Notar a correlação positiva forte (0,78) entre a Velocidade de Vibração de Partícula (Vp) e a Carga Total e positiva forte (0,88) com a Carga Máxima por Espera (CME).

#### 4.6 Matriz considerando apenas desmontes dentro da faixa entre 100 e 50m das cavidades monitoradas

Ao realizar essa análise com uma menor distância das cavidades, (faixa de 100 a 50m) verificou-se que, de uma maneira geral, as correlações continuam fortes entre si. Olhando-se especificamente para a variável sismográfica Velocidade Vibração de Partícula (Vp), nota-se uma correlação continuando forte direta, porém agora com a Carga Máxima por Espera, demonstrando que a carga por espera de explosivos passa a interferir substancialmente nos resultados sismográficos (Figura 12).

### 5. CONCLUSÕES

A variável Distância se mostrou como a principal na correlação com os valores da variável Velocidade de Vibração de Partícula (Vp), notando-se uma correlação negativa moderada, coerente com a realidade, que quanto mais distante o desmorte, menor as vibrações sismográficas na cavidade.

Todas as variáveis só mostram boa correlação quando segregadas por faixas de distância. Dentro da faixa de 50 a 100m tem forte correlação. Entre 100 a 150m continua a forte correlação. A partir de 150m em diante as correlações são fracas.

Em relação com a variável Velocidade de Vibração de Partícula (Vp), para distâncias de 50 a 150m, as variáveis Carga Máxima por Espera (CME) e Carga Total (CT) são igualmente importantes, apresentando correlações positivas fortes.

Para distâncias acima de 150m as correlações enfraquecem mantendo-se a variável distância como a mais relevante em relação a variável Velocidade de Vibração de Partícula (Vp). Ressalta-se que estes resultados representam o comportamento sismográfico em materiais como formações ferríferas e seus perfis de alteração, não devendo ser diretamente aplicados a outros tipos de rochas com cavidades.

### REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9653:2018. **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** Rio de Janeiro, RJ. 2018.

- GONÇALVES, D. F. et al. **Lateritic Terrains and the Evolution of Pseudokarstic Features – Case Study in the Iron Ore Mine N4E, Carajás Region-PA, Brazil.** 24th World Mining Congress Proceedings - Sustainability in Mining, Rio de Janeiro, p. 227-236.
- GOULART, K. C. C.; COSTA, J. L. C. L.; **Influência do acoplamento de sismógrafos na resposta da vibração de partículas ou velocidade de partículas.** Artigo produzido. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia de Minas.
- IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. **Sismologia e Ondas Sísmicas.** Disponível em [http://www.iag.usp.br/~eder/ensinarcompesquisa/Sismologia\\_f.pdf](http://www.iag.usp.br/~eder/ensinarcompesquisa/Sismologia_f.pdf)- Acessado em: 15 mar. 2019.
- ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Sismografia Aplicada à Proteção do Patrimônio Espeleológico: Contribuição Técnica à Análise de Estudos Ambientais /** Marcos Pinho. [et al.] – Brasília: ICMBio, 2016. 47 p. ; Il. Color. ISBN 978 -85-61842-63-5
- ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Sismografia Aplicada à Proteção do Patrimônio Espeleológico: Orientações Básicas à Realização de Estudos Ambientais/** Marcos Pinho. [et al.] – Brasília: ICMBio, 2016. 47 p. ; Il. Color.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro 2004.** Dispõe sobre a proteção do Patrimônio Espeleológico. Diário Oficial da União, 13 de setembro de 2004. Disponível em: < 171 <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acessado em: 09 mar. 2019.
- MINITAB, Minitab Statistical Software, Release 13. **User's Guide** 1/2 USA:2000.
- OPPERMANN, J. P. Z.; SCHAARCHMIDT, R.G.; MENDONÇA, C.S.; VALDEMERI, D.C.; MUNARETTI, E. **Redução de Vibrações em Áreas de Baixa Frequência na Pedreira E.V. - Estância Velha RS.** 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, Bento Gonçalves, RS, Maio de 2015. 09 pág.
- SANTOS JUNIOR, E. J. **Modelagem Estocástica Aplicada na Estimativa do Raio de Proteção de Cavidades Naturais Subterrâneas.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral., 2017. 117 pág.
- SHIMAKURA, S.E. **Correlação.** In: CE003 - Estatística II. Paraná: Dep. de Estatística da Universidade Federal do Paraná: Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html> 2006. – Acessado em 24 de mai. 2019.
- SILVA, T. C. **Avaliação da Carga Máxima por Espera Através de Lei de Atenuação Visando a Minimização de Danos Decorrentes das Operações de Desmonte de Rochas nas Escavações da Arena Pernambuco.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral ,2012. 143 págs.
- VALE S.A, **Programa de Gestão Espeleológica (Terceira Revisão).** Plano Básico Ambiental Consolidado Complexo Minerador Ferro Carajás. Junho de 2015.
- VALE S.A., **Relatório Consolidado de Monitoramento Sismográfico.** Plano Básico Ambiental Consolidado Complexo Minerador Ferro Carajás. Pará, dezembro de 2018.
- VALENTIM, R.F.; OLIVITO, J. P. R. **Unidade Espeleológica Carajás: Delimitação dos Enfoques Regional e Local, Conforme Metodologia da IN-02/2009 MMA.** VALE S.A - Gerência de Espeleologia e Tecnologia, Belo Horizonte - MG, 2011.
- VARGAS, V. C. C. **Correlação.** UFSC, Disponível em:  
<[http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Correlacao/Correlacao\\_Pearson\\_Spearman\\_Kendall.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Correlacao/Correlacao_Pearson_Spearman_Kendall.pdf).  
Acessado em: 27 mar. 2019.