

USO DA ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO AO ENSAIO DE CARGA PONTUAL

USE OF STATISTICS AS A TOOL FOR ASSESSMENT OF POINT LOAD STRENGTH TEST

Haline Dugolin Ceccato¹; Ana Helena Back²; Rinaldo José Barbosa Pinheiro³; Andrea Valli Nummer⁴

¹ Geól. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil. E-mail: haline.ceccato@gmail.com

² Eng. Civil, Doutoranda do PPGEC, pela UFSM, Brasil. E-mail: anahback@hotmail.com

³ Eng. Civil, Professor do curso de Engenharia Civil e do PPGEC, na UFSM, Brasil. E-mail: rinaldo@ufsm.br

⁴ Geól. Professora do curso de Geografia e do Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil. E-mail: a.nummer@gmail.com

RESUMO

Normatizado pela *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM) por intermédio do *Suggested Method for Determining Point Load Strength* (1985), o ensaio de Compressão Puntiforme permite simular o ensaio de resistência a compressão axial em materiais rochosos mediante cálculo do índice de resistência final ($Is_{(50)}$). A metodologia ISRM (1985) sugere a exclusão de amostras que apresentem resistências superiores e inferiores em relação ao contexto amostral global. Isto posto, o presente estudo visa avaliar por intermédio de uma análise estatística, se há influência da utilização dos valores superiores e inferiores no cálculo do índice de resistência à compressão puntiforme final, bem como, verificar se os dados excluídos são valores considerados *outliers* (i.e., valores individuais atípicos que distorcem os valores de tendência central e de dispersão). Mediante utilização de cinco materiais rochosos de diferentes litologias (plutônica e metamórfica), conclui-se estatisticamente que: ao seguir os preceitos exigidos ISRM (1985), a resistência final do material rochoso se encontra subestimada ou superestimada, uma vez que nem todas as resistências descartadas são de fato resultados *outliers*. De forma análoga, devem ser reajustado o tempo de imersão dos materiais rochosos conforme o tipo litológico da rocha, tendo em vista que 72 horas foram insuficientes para saturação das rochas englobadas no estudo.

Palavras-chave: resistência à carga pontual, fragmentos irregulares, *outliers*

ABSTRACT

Standardized by the *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM) through the *Suggested Method for Determining Point Load Strength* (1985), the test allows to simulate the uniaxial compressive strength in rocky materials by calculating the point load strength index ($Is_{(50)}$). The ISRM methodology (1985) suggests the exclusion of samples that present superior and inferior resistances among all the samples. That said, the present study aims to assess, by means of a statistical analysis, if there is influence of using the upper and lower values in the calculation of the final point load strength index, as well as, to verify if the excluded datas are values considered outliers (i.e., individual outliers that distort the values of central tendency and dispersion). Using five rock materials from different lithologies (plutonic and metamorphic), it is statistically concluded that: when following the required precepts ISRM (1985), the rock material final strength is underestimated or overestimated, since not all discarded values are in fact outlier results. Similarly, the saturation time of the rock materials should be readjusted according to the rock lithological classification, considering that 72 hours were insufficient for saturation of the rocks presented in the study.

Keywords: point load test, irregular fragmentes, *outliers*.

1. INTRODUÇÃO

O ensaio de carga pontual ou compressão puntiforme é normatizado pela *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM), por intermédio do *Suggested Method for Determining Point Load Strength* (1985), que permite simular o ensaio de resistência a compressão axial em materiais rochosos mediante utilização de fragmentos (ou provetas) regulares e/ou irregulares.

A utilização do ensaio de carga pontual mediante emprego de amostras irregulares é recomendada para casos cuja obtenção de provetes cilíndricos não seja uma alternativa exequível, todavia, estudos apontam limitações quanto a indicação de fato da resistência da rocha ensaiada por meio de fragmentos irregulares em comparação a corpos cilíndricos (FIORENTINI 2002; PALMA 2003).

O ensaio permite obter valores de resistência à compressão por intermédio da média aritmética das amostras. Embora sejam ensaiadas no mínimo 10 amostras para cada condição (i.e., seca ao ar e saturada), a resistência final é calculada com base em 06 corpos de prova, pois em ambas as condições, devem ser desprezados os 2 valores superiores e 2 valores inferiores.

Mediante essas constatações, o presente estudo visa avaliar por intermédio da análise estatística, se de fato há influência da utilização dos valores superiores e inferiores no cálculo do índice de resistência à compressão puntiforme final. Assim como, verificar se os dados excluídos são valores considerados outliers, fato esse que se comprovado acarretaria em uma superestimação ou subestimação dos resultados de resistência à compressão dos materiais rochosos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais e amostragem

O planejamento desta pesquisa contemplou as etapas de coleta de amostras irregulares de rocha direto da pilha pulmão de cinco jazidas estudadas, sendo 03 delas situadas no estado do Rio Grande do Sul e, as outras 2, em Santa Catarina. No Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), deu-se procedimento como a preparação da amostragem. Ressalta-se que, esta etapa é de grande importância, visto que, a resistência é obtida com base nas características existente na forma de cada amostra ensaiada.

Nas amostras irregulares, a aplicação de carga puntiforme dá-se de forma, paralela à altura D e perpendicular a largura W da amostra, até que ocorra a sua ruptura. Ressalta-se que, o ensaio exige que a relação “ W/D ” deve-se manter próximo de 1. Por conseguinte, a ruptura ocorre pelo desenvolvimento de fraturas paralelas ao eixo de carregamento. Portanto, a medição, das dimensões dos fragmentos, conforme exposto na Figura 1, foi realizado com paquímetro e, posteriormente, validado os dados antes de submeter os fragmentos à ruptura.

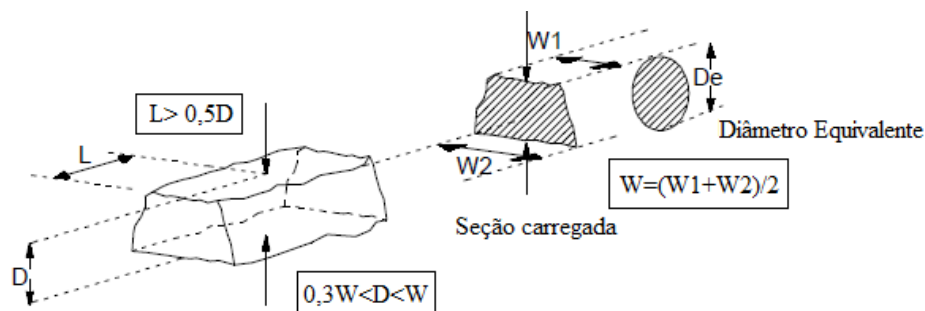


Figura 1 Especificações para o ensaio de carga puntiforme com amostra irregular. Fonte: ISRM (1985)

Conforme metodologia de ensaio apresentada por ISRM (1985), as amostras devem ser ensaiadas sob duas condições: seca ao ar e saturada (imersão em água por 72 horas). Todavia, a depender do tipo litológico da rocha (em especial as ígneas plutônicas), o tempo de imersão proposto pela normativa pode ser insuficiente para a saturação completa do fragmento (em função da baixa absorção característica do tipo rochoso), comprometendo os resultados das amostras sob condição saturada, como identificado nos estudos apresentados por BACK (2018).

No presente estudo, foram utilizados 20 fragmentos irregulares para cada jazida, 10 na condição seca ao ar e 10 na condição saturada. Sendo que, o período necessário de saturação, foi determinado com base nos resultados apresentando no ensaio de absorção, realizado de acordo com a normativa ABNT NBR 5564:2011 (Anexo B). Portanto, optou-se por saturar as amostras por um período de 30 dias, pois além da baixa absorção, deve-se levar em consideração que, fragmentos do tipo rachão, tendem a apresentar uma absorção ainda mais lenta, pois conforme Kazi e Al – Mansur (1980) os altos valores de absorção é obtida com o decréscimo do tamanho dos fragmentos.

Para a obtenção do índice de resistência à carga pontual ($Is_{(50)}$), é necessário primeiramente calcular o índice de resistência à carga pontual não corrigido (Is), conforme expresso no Tabela 1, através da Equação 1, por conseguinte, é realizada a correção do efeito escala (*size correction*), tendo em vista que o valor de “ Is ” varia em função do diâmetro equivalente (De) de cada corpo de prova

Esse cálculo faz-se necessário para a uniformização de todos os índices de resistência para um único diâmetro de corpo de prova, estabelecido pelo método como 50 milímetros (5cm). O método permite obter o índice de resistência à carga pontual corrigido ($Is_{(50)}$), por intermédio de 3 maneiras distintas, porém, no presente estudo foi utilizado o cálculo apresentando na Equação 2, presente no Tabela 1.

Tabela 1 Resistência à Carga Pontual – Point Load Test (ISRM, 1985)

$I_s = \frac{P}{(De)^2}$ $De^2 = \frac{4 * W * D}{\pi}$	Equação 1	$Is_{(50)} = F * Is$ $F = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45}$	Equação 2
Is = índice de resistência não corrigido (MPa); P = carga de ruptura, em kN; De = diâmetro equivalente (cm^2); W = largura do corpo de prova (mm); D = altura do corpo de prova (mm);		W = largura do corpo de prova (mm); D = altura do corpo de prova (mm); F = fator de correção de tamanho; Is = índice de resistência corrigido (MPa); De = diâmetro equivalente (cm^2); $Is(50)$ = índice de resistência equivalente; (Mpa).	

Em adição, foram realizados ensaios de análises petrográfica, no Laboratório de Geologia Ambiental – LAGEOLAM, da UFSM, com descrição macro e microscopicamente, essa última, realizada por intermédio de lâminas petrográfica.

2.2 Análise estatística

Após a compilação de todos os dados dos respectivos ensaios, deu-se seguimento com a apuração estatística. A

Figura 2 apresenta de forma resumida os métodos estatísticos utilizado na respectiva análise. Ressalta-se que, em todas as análises aplicadas, foi utilizado o *software* livre denominado RStudio.

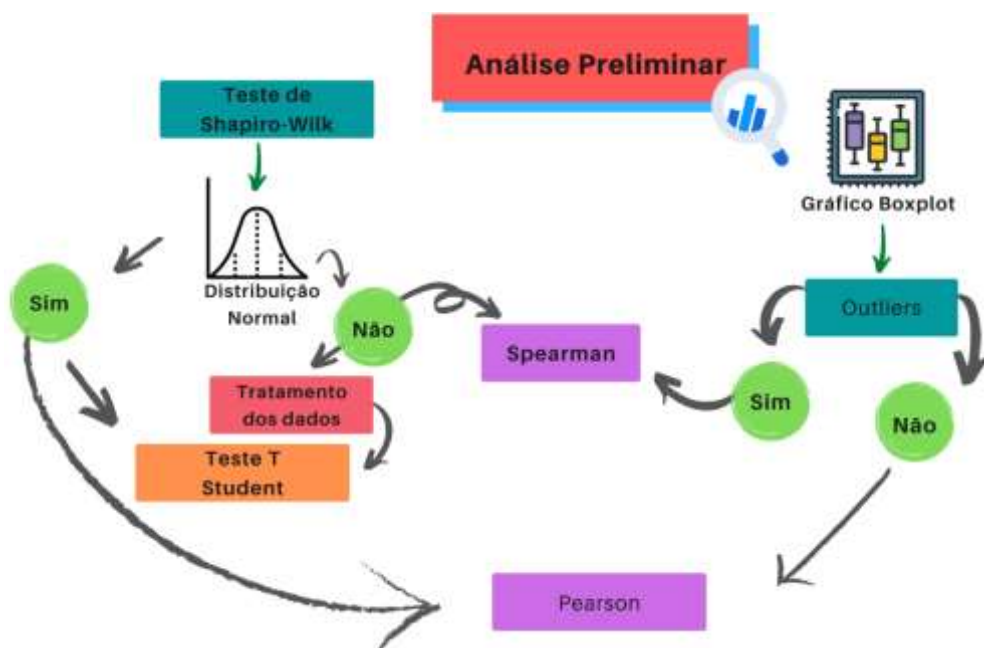


Figura 2 Fluxograma da aplicação da análise. - *Para aplicação do coeficiente de Pearson, deve-se atender os dois pré-requisitos, conforme fluxograma, caso atenda apenas um, deve ser realizado o Coeficiente de Spearman.

A análise de normalidade dos dados é de grande relevância no momento da decisão acerca da utilização dos testes estatísticos. Quando os dados apresentam distribuição normal, é possível a aplicação de testes paramétricos, caso contrário, se os dados não forem normais, e não conseguirem ser normalizados pode ser aplicados testes não-paramétricos (FIELD, 2009).

Por intermédio do teste Shapiro-Wilk, é possível analisar a forma de distribuição dos dados. Segundo Field (2009), o teste de S-W compara escores de uma amostra, a escores de uma distribuição normal modelo de mesma média e variância dos valores encontrados na amostra. O respectivo teste permite obter parâmetro do valor de prova (valor p, p-value ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula.

Dessa forma, a regra de decisão adotada para verificar se a distribuição é Normal ou não, foi: (i) se $p \leq \alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, não pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se $p > \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão.

Por conseguinte, a verificação de outliers foi realizada por intermédio do gráfico *boxplot*. O respectivo gráfico, *boxplot* ou diagrama de caixa, permite visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*) dos dados, assim como, avaliar e desenvolver sobre o caráter dos dados (VALLADARES NETO et al, 2017). Em adição, é possível observar em qual jazida e linha está ocorrendo tal discrepância.

Após a verificação do atendimento dos pressupostos, realizou-se o tratamento dos dados, excluindo os valores considerados outliers. Por conseguinte, deu-se sequência com a escolha do teste paramétrico, “teste t de *student*”, que permite comparar dois grupos independentes, por intermédio da média populacional de cada amostragem (μ_1 e μ_2). Neste caso, o teste de hipótese consiste em: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (hipótese nula) e $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (hipótese alternativa). Neste trabalho, foi empregado, o teste t de Student, de acordo com as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula, H_0 as amostras são pertencentes à mesma população;

- Hipótese alternativa, H_1 , as amostras são de populações distintas.

Portanto, o objetivo principal, foi verificar se de fato, descartar os dois valores superiores e inferiores, conforme normativa, têm influência no resultado final, do ponto de vista estatístico, com 95% de confiabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na análise petrográfica encontram-se no Quadro 1. É possível observar que as rochas das jazidas nomeadas por “CONP” e “ELD” tende a apresentar resistência inferiores as demais, uma vez que há ocorrência de maiores porções alteradas em comparação às demais, fato que foi possível comprovar com a lâmina petrográfica.

Quadro 1 Resultado da descrição petrográfica das jazidas foco deste estudo

Amostra	Rocha	Sigla
	Rocha plutônica intermediária: diorito Rocha mesocrática, de textura maciça, fanerítica, granulação média. Composta essencialmente por plagioclásio, pouca quantidade de quartzo e ferromagnesianos, tais como piroxênio.	FRAG
	Rocha metamórfica: gnaiss Rocha de granulação grossa, com alternância de bandas de quartzo e feldspato. Observa-se bandas ricas em micas e anfibólios.	VOG
	Rocha plutônica ácida: sienogranito Rocha leucocrática, de textura maciça, fanerítica, granulação média a grossa. Composta essencialmente por: quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e, menor quantidade, ferromagnesianos, tais como, piroxênio e biotita.	MIN
	Rocha plutônica ácida: monzogranito biotítico porfiróide. Rocha leucocrática, maciça, com presença de cristais grandes (fenocristais) de feldspato, remetendo uma textura porfirítica, disperso em uma matriz de granulação mais fina. Composta por: feldspato, plagioclásio, quartzo. Além disso, alteração visível de feldspato, classificando a rocha com alteração moderada.	CONP
	Rocha plutônica ácida: sienogranito Rocha leucocrática, maciça, fanerítica, granulação média a grossa. Composta por: feldspato potássico, quartzo, plagioclásio. Minerais ferromagnesianos, essencialmente biotita e piroxênio. Grãos de quartzo fraturados e ligeira oxidação do feldspato. Grau de alteração classificado como moderado.	ELD

Na Figura 3 são apresentados os resultados da análise física. Como o objetivo consistia em verificar a absorção em dois intervalos de tempo diferentes, as amostras foram ensaiadas em 72 horas e 30 dias, conforme metodologia apresentada na ABNT NBR 5564:2011 (Anexo B). É notório que as rochas ensaiadas ostentam baixa absorção, em decorrência da textura e granulação desse tipo litológico

apresentarem baixa absorção e por consequência, baixa porosidade, quando encontram-se nas condições sãs ou com baixo grau de alteração.

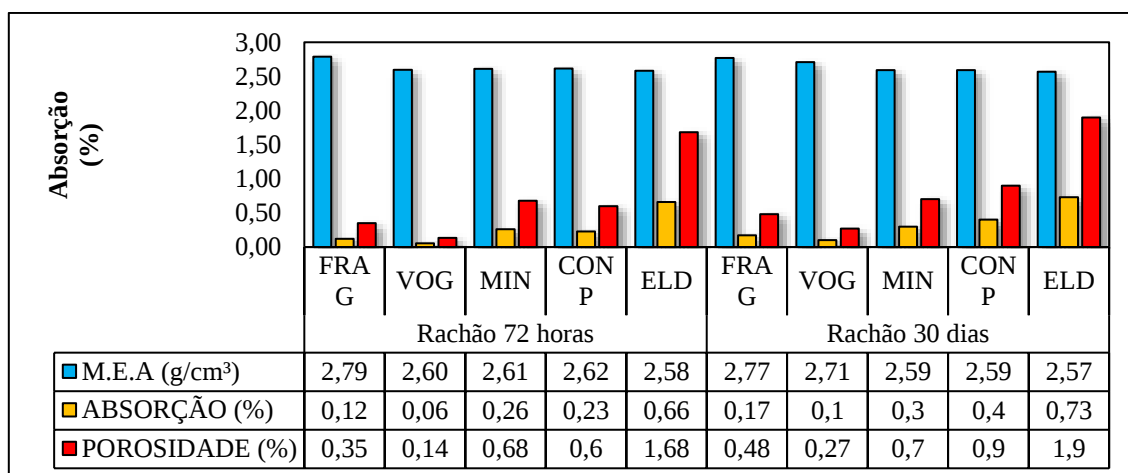


Figura 3 Propriedades físicas das amostras ensaiadas

Através dos resultados apresentados foi possível verificar a baixa absorção das amostras quando submetida a imersão sem aplicação de pressão. Por conseguinte, há uma tendência nos resultados apresentando na Figura 3, em comparação ao Quadro 1. As rochas que apresentaram um certo grau de alteração, (“CONP” e “ELD”) tenderam uma absorção mais elevada. Estas conclusões estão de acordo com Ferreira (1990), que constatou que o efeito da água para os granitos é mais pronunciado nas amostras alteradas do que nas amostras sãs. Essa análise previa é de grande importância, visto que as características intrínsecas da rocha interferem posteriormente nos resultados de resistência. Conforme discutido na metodologia, o respectivo ensaio serviu de referência para o preparo na saturação das amostras a serem submetidas ao ensaio de Carga Pontual.

Face esse panorama, as amostras referentes ao ensaio de compressão puntiforme preparadas na condição saturada, permaneceram imersos em água, durante um período de 30 dias. No entanto, conforme pode-se observar na Figura 4, esse período não foi suficiente para saturação por completo das amostras. No geral, durante esse período, a saturação ocorreu apenas, entorno de 1 cm da borda das amostras.

Ressalta-se que, para efeito de comparação da absorção, após o período de 72 horas, algumas amostras foram rompidas, com o propósito de verificar a saturação no interior da amostra, porém, conforme pode-se verificar na Figura 4, ao submete-la ao ensaio de compressão puntiforme, os fragmentos encontravam-se completamente secos no seu interior.



Figura 4 Representação da amostra submetida ao ensaio de carga pontual sob duas condições: saturada por 72 horas e saturado por 30 dias.

Os valores correspondentes ao respectivo ensaio, obtidos nas condições seca ao ar e saturada, juntamente com a razão entre ambas as condições, estão apresentando na Figura 5. Ressalta se que, o valor da resistência a compressão puntiforme, foi obtido através da média aritmética dos dados, desprezando os dois valores superiores e inferiores para cada condição de ensaio, conforme ISRM (1985).

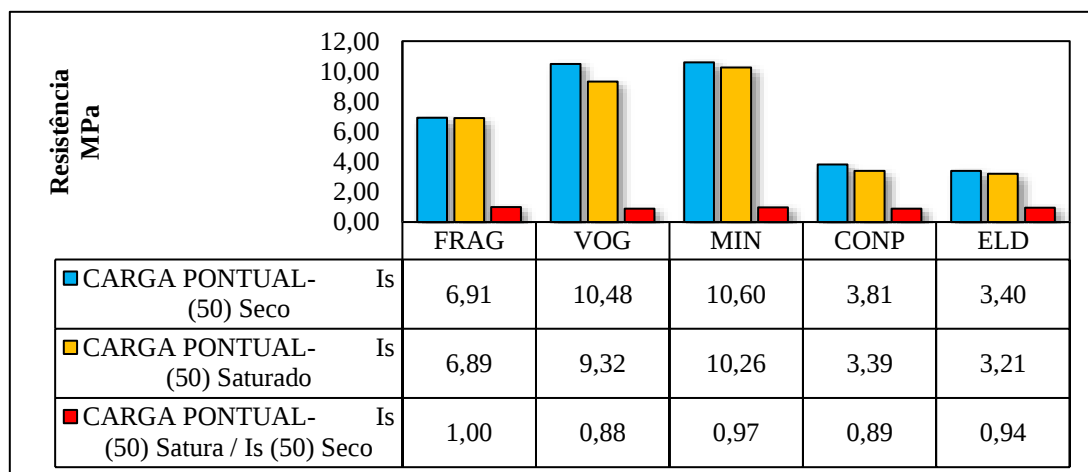


Figura 5 Resultado da compreensão puntiforme calculado conforme normativa ISRM (1985)

Como pode ser constatado, os fragmentos na condição seca ao ar obtiveram resistência mecânica superiores aos fragmentos na condição saturada. No entanto, a baixa discrepância dos resultados, conforme apresentado na relação $Is(50)_{sat} / Is(50)_{seco}$ pode ser justificada pela não saturação apropriada dos fragmentos irregulares. Além disso, por intermédio da análise petrográfica, foi verificado alteração nas jazidas CONP e ELD que, por conseguinte, promoveram uma diminuição satisfatória na resistência de compressão puntiforme, pois apresentaram valores inferiores em relação às demais.

A resistência dos fragmentos diminui mediante presença da água, como demonstraram os resultados dos ensaios. Com o propósito de avaliar, estatisticamente a atuação da absorção no respectivo ensaio, aplicou-se, por intermédio da análise estatística, a correlação de Pearson.

Os números alocados dentro dos círculos apresentados na Figura 6 são definidos por coeficientes de correlação, que visam mensurar o grau de relacionamento linear entre duas variáveis, expondo valores entre $-1 \leq r \leq 1$: i) Quanto mais próximo de -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumentar a outra sempre diminuirá; ii) Quanto mais próximo de 1, maior será a correlação positiva entre as duas; iii) Quanto mais próximo de 0, menor a correlação linear entre as variáveis, entretanto, as duas variáveis podem estar perfeitamente relacionadas e o resultado deverá ser investigado por outros meios.

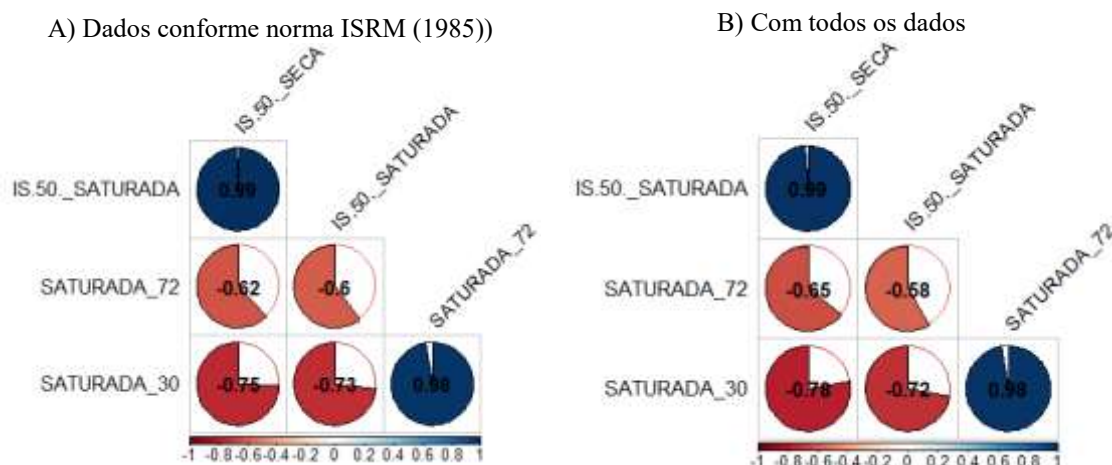


Figura 6 Gráfico de correlação entre saturação por 72 horas e 30 dias e Carga Pontual seca ao ar e saturada

Pode-se afirmar que, à medida que a saturação aumenta, a resistência da rocha decresce, como apontando por Ferreira (1990). Além disso, é observado a influência do tempo na saturação, as amostras saturadas por 30 dias, de acordo com Hinkle et al. (2003), apresentam alta correlação negativa (± 0.70 a ± 0.90), enquanto que, as amostras saturadas por 72 horas, ostenta correlação negativa moderada (± 0.50 a ± 0.70).

De acordo com Ferreira (1990), no presente estudo, as rochas foram submetidas a saturação parcial, tanto para o período de 72 horas assim como, 30 dias. A saturação total, só seria possível com aplicação do vácuo. Além disso, dependendo da obra imposta, dificilmente ocorrerá a saturação total das amostras, portanto, a saturação parcial torna-se eficaz para evidenciar o comportamento dos materiais em presença da água.

Conforme apresentado na metodologia e também, ressaltado no item acima, a obtenção do resultado de compressão puntiforme (uniaxial) leva-se em consideração a média aritmética desconsiderando os dois valores superiores e inferiores. Partindo desta observação o objetivo do presente estudo consistiu em verificar se de fato, do ponto de vista estatísticos, há influência dos valores extremos superiores e inferiores, no índice de resistência da carga pontual final, assim como, se esses dados podem ser considerados outliers.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados do teste Shapiro – Wilk (S-W) com grau de confiança de 95% (nível de significância (α) de 5%), e as Figura 7e Figura 10 ostentam os histogramas com representação da curva da distribuição com todos os dados, com objetivo de verificar se os dados apresentam uma distribuição normal, pré-requisito para empregar o teste t de Student.

Tabela 2 Resultado do teste Shapiro – Wilk (S-W)

		Jazidas	Média	Mediana	Desvio padrão	Valor máximo	Valor mínimo	Teste de Shapiro Wilk (p-valor)
Desconsiderando valores superiores e inferiores	Seca ao ar	FRAG	6.91	6.36	1.73	9.27	4.9	0.420
		VOG	10.48	11	1.78	12.33	8.17	0.224
		MIN	10.59	9.91	1.45	12.75	9.27	0.106
		CONP	3.81	3.75	0.286	4.17	3.52	0.196
		ELD	3.53	3.61	1.35	5.68	1.58	0.870
	Imersão por 30 dias	FRAG	6.89	7.09	0.89	7.94	5.73	0.476
		VOG	9.31	9.11	1.33	11.47	7.79	0.624
		MIN	10.26	10.41	0.97	11.47	8.74	0.883
		CONP	3.39	3.73	1.02	4.65	2.08	0.320
		ELD	3.22	3.28	1.07	4.37	1.98	0.172
Com todos os dados	Seca ao ar	FRAG	7.60	6.36	3.97	16.85	3.27	0.128
		VOG	11.05	11	3.44	16.85	7.28	0.200
		MIN	10.66	9.91	2.67	15.29	6.60	0.887
		CONP	3.55	3.75	0.95	4.56	1.76	0.039*
		ELD	3.39	3.61	1.21	5.68	1.58	0.757
	Imersão por 30 dias	FRAG	7.04	7.09	1.98	11.30	4.56	0.498
		VOG	8.94	9.11	2.75	12.03	2.82	0.244
		MIN	10.03	10.41	2.10	13.20	5.72	0.836
		CONP	3.37	3.73	1.2	4.78	1.84	0.055
		ELD	3.50	3.28	2.07	7.81	0.74	0.551

*não apresenta distribuição normal

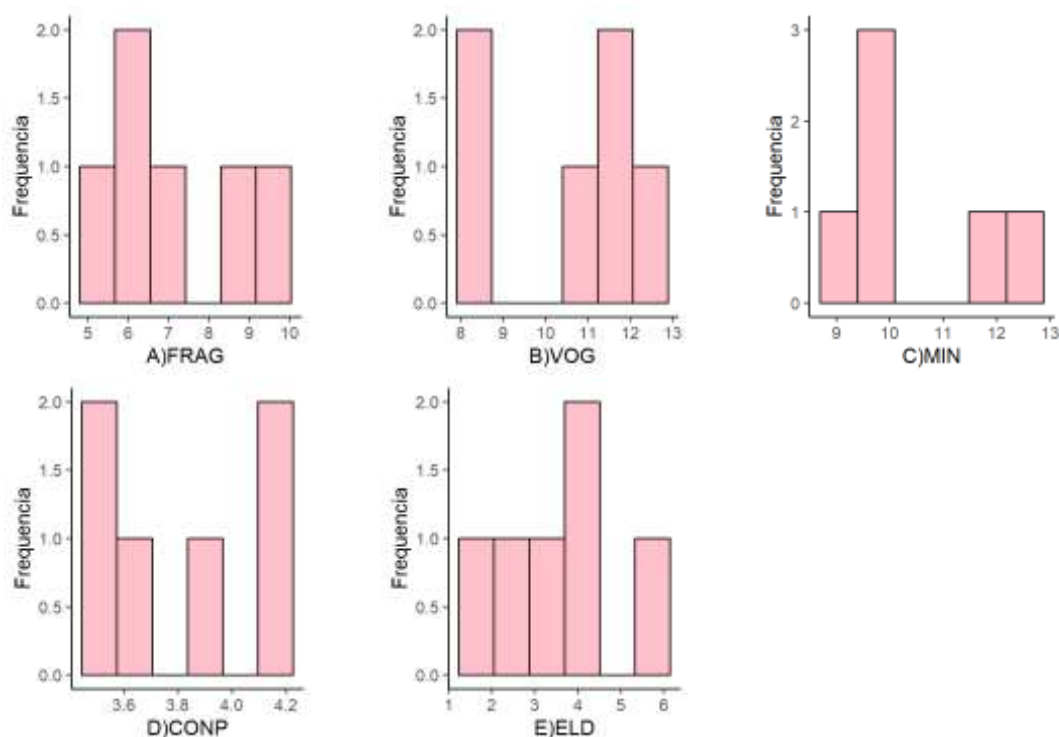


Figura 7 Histograma carga pontual seca ao ar conforme normativa ISRM (1985), A) FRAG, B) VOG, C) MIN, D) CONP e E) ELD

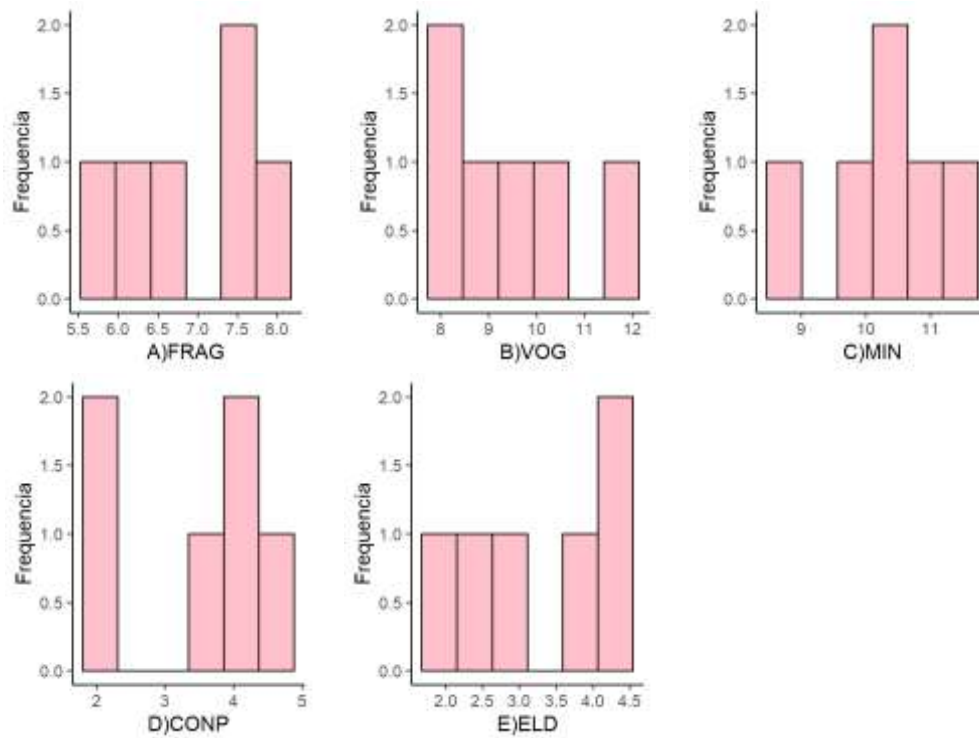


Figura 8 Histograma carga pontual seca ao ar conforme normativa ISRM (1985), A) FRAG, B) VOG, C) MIN, D) CONP e E) ELD.

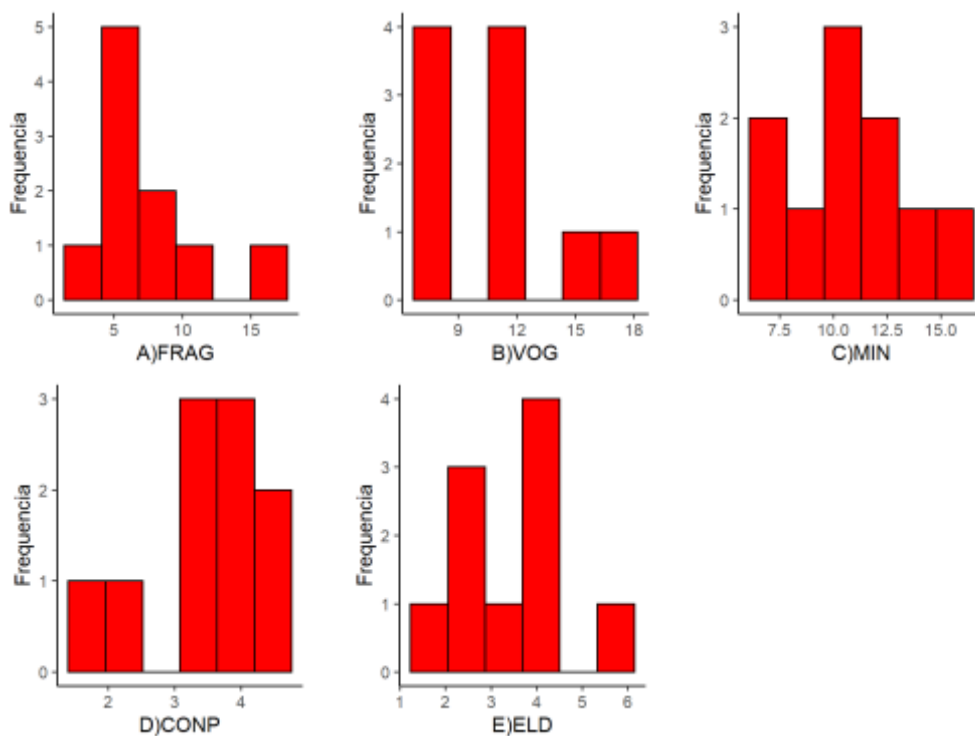


Figura 9 Histograma carga pontual seca ao ar com todos os dados A) FRAG, B) VOG, C) MIN, D) CONP e E) ELD.

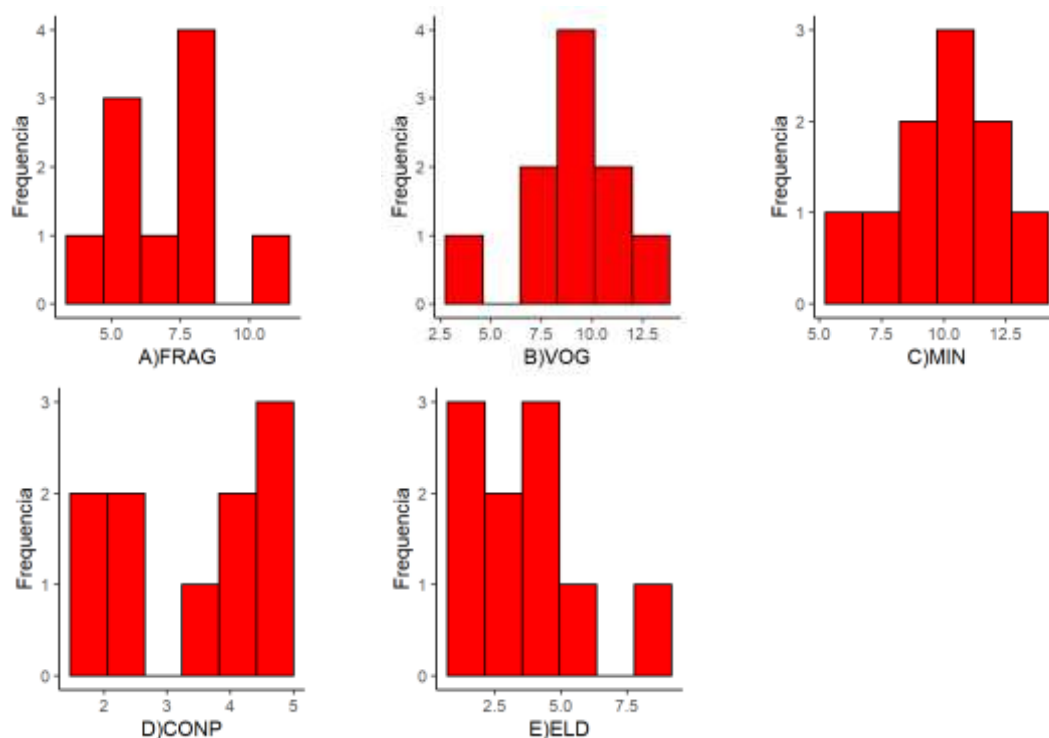
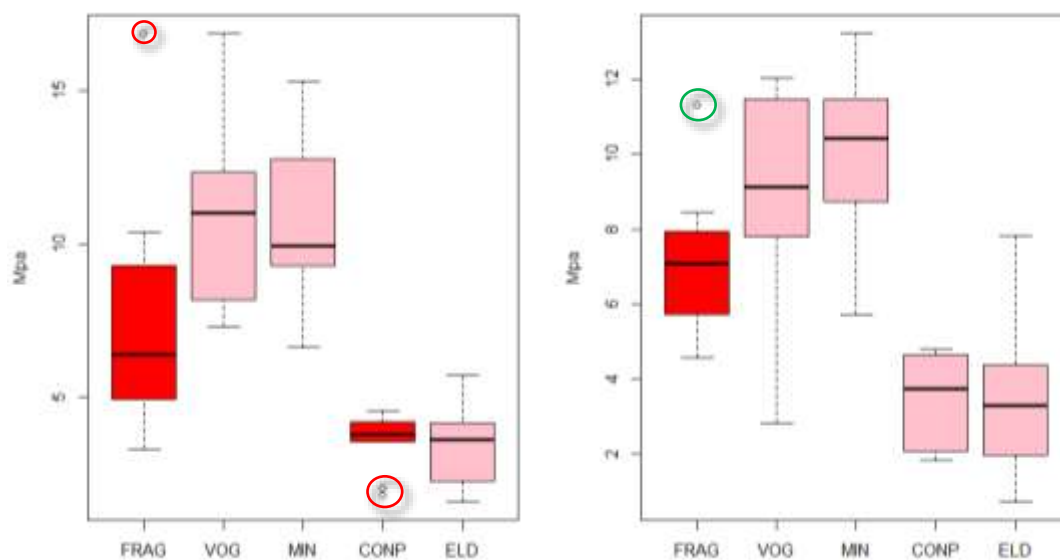


Figura 10 Histograma carga pontual saturada com todos os dados A) FRAG, B) VOG, C) MIN, D) CONP e E) ELD.

Nota-se que, apenas a pedra CONP na condição seca ao ar (Tabela 2 e Figura 9) rejeitou o teste de normalidade H_0 ($\text{sig} < 0.05$). Além disso, através da Figura 8, é possível observar a diferença da curva da jazida CONP em relação as demais. Em adição, para condição saturada, todas as jazidas apresentam distribuição normal. Por conseguinte, realizou-se a exploração dos dados por intermédio dos gráficos de Boxplot, para as duas condições das amostras: seca ao ar e saturada, com o propósito de verificar a ocorrência de outliers (Figura 11). Ressalta-se que, outliers são valores individuais atípicos que distorcem os valores de tendência central e de dispersão.



A) Condção Seca ao ar

B) Condção Saturada

Figura 11 Resultado dos gráficos boxplot na condição seca ao ar (A) e saturada (B).

A jazida FRAG apresentou *outliers* superior nas duas condições ensaiadas, conforme apresentando na Figura 11, através do círculo vermelho (seca ao ar) e círculo verde (saturada). Em adição, a jazida CONP deteve *outliers* inferior apenas na primeira condição, conforme ressaltado na Figura 11 A, círculo vermelho. Na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.** são apresentados os valores de *outliers*, assim como, os valores máximos e mínimos descartados do cálculo na média aritmética, para as jazidas FRAG e CONP, conforme ISRM (1985).

Tabela 3 Valores de outliers em comparação com os superiores e inferiores

Parâmetros	Condição Seca ao ar		Condição Saturada
	FRAG	VOG	FRAG
Outliers	4,9	4,17	11,30*
Outliers	-	3,52	-
Valor máximo (1)**	16,85	4,56	11,30*
Valor máximo (2)**	10,35	4,39	8,44
Valor mínimo (1)**	3,27	1,76	4,78
Valor mínimo (2)**	4,07	2,00	4,56

Valores a ser descartado, com base na análise estatística

Valores que devem ser descartados, conforme ISRM (1985)

*valor considerado outliers com base na análise estatística; **valores considerados superiores e inferiores, dentro as 20 amostras ensaiadas que, foram descartadas no cálculo final do índice de carga pontual.

Notou-se, com exceção da FRAG (condição saturada), os *outliers* divergem dos valores descartados no cálculo de índice de carga pontual, conforme requerido na norma ISRM (1985). Portanto, considerando um grau de confiança de 95%, conclui-se que, os valores descartados para obtenção do resultado de resistência mecânica, não são considerados de fato outliers, com exceção da jazida FRAG, conforme discutido acima.

Diante do exposto, antes de aplicar o teste t de *Student*, foram descartados do banco de dados os valores apontados como outliers. Após o tratamento dos dados deu-se sequência as análises. Na Tabela 4, são apresentados o resultado do respectivo teste.

Tabela 4 Resultado obtido com o teste t de Student

	Seca ao ar					Imersão por 30 dias				
	FRAG	VOG	MIN	CONP	ELD	FRAG	VOG	MIN	CONP	ELD
t	0.64	0.44	0.06	-0.84	-0.22	0.21	-0.36	-0.28	-0.03	0.36
df	11.52	13.85	13.93	8.37	9.76	13.35	13.66	13.47	12.10	13.86
p-value/*	0.52	0.66	0.95	0.43	0.83	0.87	0.72	0.78	0.97	0.72

*se $p \leq 0.05$, rejeita-se H_0 (aceita a hipótese alternativa);

* se $p > 0.05$, não se rejeita H_0 (aceita a hipótese nula).

Observa-se que, em todos os casos analisados, a hipótese nula não é rejeitada ($p > 0.05$). Por conseguinte, com um nível de confiança de 95%, não há diferença em descartar os valores superiores e inferiores para aferir a resistência a compressão da rocha e, sim, apenas os valores considerados de fato *outliers*. Portanto, na Figura 9, são apresentando os novos valores da resistência a compressão puntiforme, calculado após a análise estatística comparando com os valores calculados conforme normativa ISRM (1985).

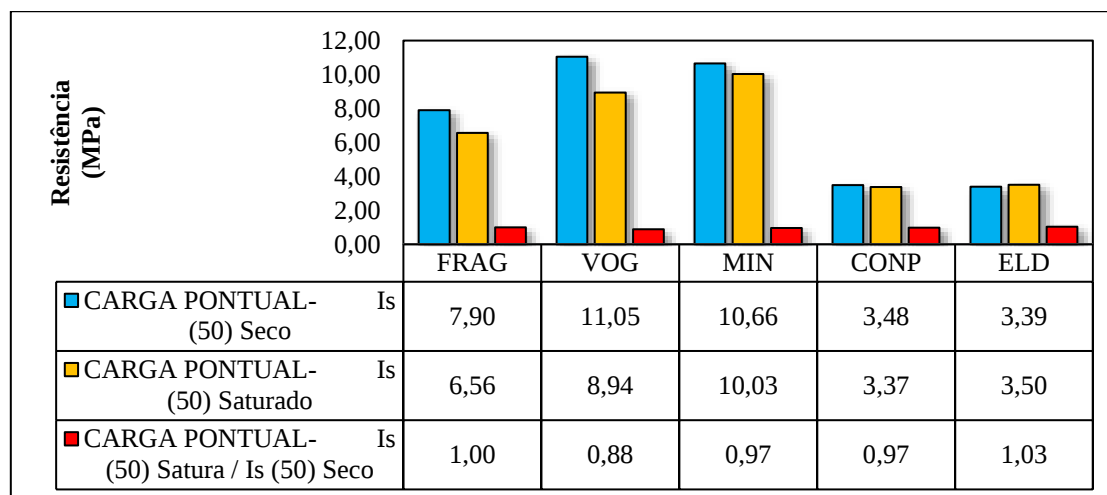


Figura 9. Resistência a compressão puntiforme conforme ISRM (1985) e após análise estatística dos dados

Portanto, de acordo com os resultados apresentado, nota-se que, em alguns casos, fazer o uso da média aritmética, de acordo com normativa ISRM (1985) pode estar gerando subestimação ou superestimação. Conforme pode ser constatado pelas jazidas FRAG, VOG e MIN, na condição seca ao ar, ou seja, os dados apresentados são menores que o valor real. Por conseguinte, ocorre o oposto para CONP e ELD (condição seca ao ar), os dados apresentados são superiores ao valor real, ou seja, temos a superestimação. No entanto, para a condição saturada, as jazidas FRAG, VOG, MIN e CONP apresentam subestimação e apenas a ELD superestimação. Fato que, posteriormente reflete na relação $Is_{(50) \text{ sat}} / Is_{(50) \text{ seco}}$, ou seja, as jazidas FRAG, VOG, MIN apresentam subestimação e as jazidas CONP e ELD superestimação.

4. CONCLUSÕES

A análise dos dados permitiu aferir que as rochas saturadas apresentam menor resistência a compressão puntiforme em comparação as secas ao ar. No entanto, essa relação só foi possível em virtude do tempo de saturação empregado na respectiva análise ter sido superior ao previsto na normativa ISRM (1985). Pois conforme pode-se observar, as rochas de origem plutônicas ensaiadas nesta pesquisa, apresentaram resultados mais satisfatório ao encontrado nos estudos de Back (2018). Portanto, se o objetivo consiste em verificar a resistência do material rochoso quando exposto a pior condição, ou seja, saturado, faz-se necessário introduzir como análise prévia a obtenção do índice de absorção (amostra de fragmento de rocha). Estabelecendo como critério duas condições de tempo diferentes e, posterior aos resultados apresentados, utilizar o valor de absorção que for mais representativo para o tipo litológico a ser submetido ao ensaio de resistência da carga pontual.

Embora para as rochas plutônicas não exista um parâmetro aceitável para relação $Is_{(50) \text{ sat}} / Is_{(50) \text{ seco}}$, é notório a interferência da textura e granulação no respectivo ensaio, assim como, a condição de

saturação da rocha. Pois conforme observado, rochas que apresentaram na descrição petrográfica grau de alteração, resultaram em valores inferiores de resistência.

Por conseguinte, por intermédio da análise estatística através do teste-t todas as amostragens, tanto em condição seca ao ar quanto saturada, mostraram que, para um nível de 95% de confiabilidade, não há efeito na média aritmética, a exclusão dos valores superiores e inferiores, conforme estabelecido na normativa ISRM (1985), no entanto, geram subestimação e superestimação.

Por conseguinte, os valores excluídos do cálculo não são de fato *outliers*, portanto, não se diferem drasticamente de todos os outros valores. No entanto, os valores apontando na análise estatística como *outliers* para a jazida CONP, de fato, causavam efeito na distribuição normal, portanto, foi descartado do cálculo da média aritmética.

Em suma, por intermédio dos resultados apresentados no presente estudo, conclui-se que, o tempo de imersão deveria ser diferenciado para cada tipo litológico. Assim como, a escolha dos valores descartados, necessitam ser previamente avaliados mediante análise estatística, descartando apenas os *outliers*, pois conforme observado, são dados que podem gerar resultados equivocados de subestimação ou superestimação da resistência à compressão puntiforme do material rochoso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM), da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e, o PPGEC pelo suporte oferecido.

5. REFERÊNCIAS

ABNT NBR NM 5564 Via férrea – Lastro Ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio. Anexo B - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ (2011).

BACK, A. H. Avaliação das propriedades químicas e geomecânicas de agregados oriundos de jazidas de rochas de diferentes litologias do estado do RS. 179 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS (2018).

FIELD, A. P. Descobrindo a estatística usando o SPSS. Porto Alegre, Brasil, Artmed, 2ª edição (2009).

FIORENTINI, J. A Avaliação da Durabilidade, Abrasividade e Dureza das Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral. Xp. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS (2002).

FERREIRA, M. de O. Q. Aplicação da geologia de engenharia ao estudo de barragens de enrocamento. 322p. Centro de Geociência da Universidade de Coimbra – Instituto Nacional de Investigação Científica – Universidade de Coimbra (1990).

HINKLE, D. E., WIERMSMA, W. & JURS, S. G. Applied Statistics For The Behavioral Sciences. 5 Th Ed. Boston: Houghton Mifflin, 663 (2003).

ISRM Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences – International Society of Rock Mechanics Oxford, v. 22, n. 2, p. 51-60 (1985).

KAZI, A.; AL-MANSOUR, Z.R. Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregate Pág. 195-203. Engineering Geology (1980).

PALMA, P. S. Estudo dos Rejeitos de Garimpo de Ametista do Distrito Mineral do Alto Uruguai, RS. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS (2003).

VALLADARES NETO, J. et al. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. in Ver. Odontol Bras Central, nº 26 (76), p. (2017)