

Análise dos Critérios de Correlação Entre os Valores de Rebote do Martelo de Schmidt Tipo L e N Obtidos em Ensaios de Campo

Jhoan Sadith Paredes Panitz ¹; Rodrigo Peluci de Figueiredo ²; Clara Ramos Possas³

Resumo – O martelo de Schmidt é amplamente utilizado como uma ferramenta para determinar de forma indireta, via correlações, a resistência à compressão uniaxial (UCS) das rochas e/ou descontinuidades. Atualmente estão disponíveis os martelos de Schmidt tipo L (SHL) e N (SHN), sendo o tipo L o mais utilizado desde que começou a ser recomendado esse tipo de ensaio como alternativa de determinação da resistência em campo. Contudo, o martelo tipo N vem ganhando destaque devido, principalmente, à sua maior energia de impacto, o que permite ensaiar rochas mais resistentes. No presente trabalho, foi realizada uma revisão da literatura com o objetivo de aferir as correlações existentes entre os valores de rebote obtidos pelos martelos de tipo L (SHL) e N (SHN) disponíveis na literatura e, na medida do possível, avaliar as suas confiabilidades. A relação mais aderente foi utilizada para determinar os valores de R(L), a partir dos valores de R(N) coletados com o martelo tipo N em campo. Também foi definida, com base em pesquisas bibliográficas, uma correlação entre R(L) e a resistência à compressão uniaxial (UCS).

Abstract - The Schmidt hammer is widely used as a tool to indirectly determine, via correlations, the uniaxial compressive strength (UCS) of rocks and/or discontinuities. Currently, two Schmidt hammer models are available—Type L (SHL) and Type N (SHN)—with Type L being the most commonly used since this test was first recommended as an alternative method for determining strength in the field. However, the Type N hammer has been gaining prominence due mainly to its higher impact energy, which makes it suitable for testing stronger rocks. In the present study, a literature review was conducted with the aim of assessing the existing correlations between rebound values obtained with Type L (SHL) and Type N (SHN) hammers available in the literature and, where possible, evaluating their reliability. The most consistent relationship was used to determine R(L) values from the R(N) values measured in the field with the Type N hammer. Additionally, based on bibliographic research, a correlation between R(L) and uniaxial compressive strength (UCS) was established.

Palavras-Chave – Martelo de Schmidt tipo N e L; correlações, resistência à compressão uniaxial.

¹ Geól., MSc, TEC3 engenharia e Recursos Hídricos, (31) 984997535, jpanitz@tec3engenharia.com.br

² Prof., DSc, Universidade Federal de Ouro Preto, (31) 99711-2777, rpfigueiredo@ufop.edu.br

³ Geól., TEC3 engenharia e Recursos Hídricos, (31) 988857107, cpossas@tec3engenharia.com.br

1. INTRODUÇÃO

No campo da mecânica das rochas, o martelo de Schmidt é amplamente empregado como ferramenta para a estimativa indireta, via correlações, da resistência à compressão uniaxial (UCS) da rocha intacta, bem como, das paredes das descontinuidades geológicas. O valor da UCS pode ser estimado, de forma simplificada, por meio de equações empíricas que com ela correlacionam o índice de rebote do martelo de Schmidt (R). Diversas equações desse tipo estão disponíveis na literatura, tanto para martelos do tipo L(SHL), quanto do tipo N(SHN), desenvolvidas com base em ensaios realizados em diferentes litologias.

Distintos procedimentos para o registro dos índices de rebote têm sido propostos por diferentes autores, geralmente baseados em “impactos simples” ou “impactos contínuos” aplicados em um mesmo ponto (Bolla, 2021). Na prática, os métodos mais amplamente utilizados são aqueles recomendados pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM) e pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM). No entanto, não há consenso na literatura quanto à definição do valor de referência do índice de rebote a ser adotado para o cálculo da resistência da rocha, especialmente em aplicações de campo. A ISRM, por exemplo, recomenda a utilização da média dos dez maiores valores obtidos em 20 impactos simples, enquanto a ASTM sugere a exclusão de leituras que diferem em mais de sete unidades da média de dez leituras, utilizando-se, então, a média dos valores remanescentes. Isso evidencia que, dependendo do critério adotado, o valor representativo pode variar significativamente, em função do método de processamento dos dados (Bolla, 2021).

As primeiras equações de correlação entre UCS e o índice de rebote (R) disponíveis na literatura foram majoritariamente desenvolvidas com base em ensaios realizados com martelos do tipo L. Com o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novos dispositivos, o martelo do tipo N também passou a ser amplamente utilizado. No entanto, ainda são escassas na literatura técnica as propostas de equações empíricas que correlacionem o UCS com os dados obtidos por meio de martelos tipo N, o que ressalta a necessidade de estabelecer relações de conversão entre os índices de rebote dos martelos dos tipos L (SHL) e N (SHN).

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma análise técnica de diferentes critérios de correlação entre os valores de rebote dos dois tipos de martelo disponíveis na literatura, além de um estudo de caso, no qual dados obtidos em campo com o martelo tipo N (SHN) são processados por meio de uma metodologia específica e são adotadas relações empíricas para obter o rebote R(L) correspondente. Mais além, é aplicada uma equação de correlação para a estimativa da resistência à compressão uniaxial do material, ensaiado para obtenção desse último índice.

2. CORRELAÇÕES ENTRE OS MARTELOS TIPO N (SHN) E TIPO L (SHL)

O martelo de Schmidt consiste em um pistão (um peso de aço = “martelo”) ligado a uma mola, que é estendida quando a haste é pressionada contra uma superfície. Após a extensão total da mola, o pistão é liberado, tendo seu movimento revertido (cineticamente) por ação da mola (energia potencial elástica) e do próprio peso (energia potencial gravitacional). O impacto do pistão sobre a base da haste transfere a energia armazenada no peso (elástica e gravitacional) para o material ensaiado. O grau em que essa energia é recuperada depende da dureza (ou resistência à penetração por impacto) do material. É expresso pela razão, em porcentagem, entre o comprimento final da mola, após o rebote, e seu comprimento inicial máximo, antes da liberação do pistão. Sendo assim, o coeficiente de reflexão “R” representa uma medida da perda de energia após a colisão, que depende da gravidade e da elasticidade do material impactado (Gouveia, 2018). A Figura 1 ilustra, esquematicamente o funcionamento do martelo.

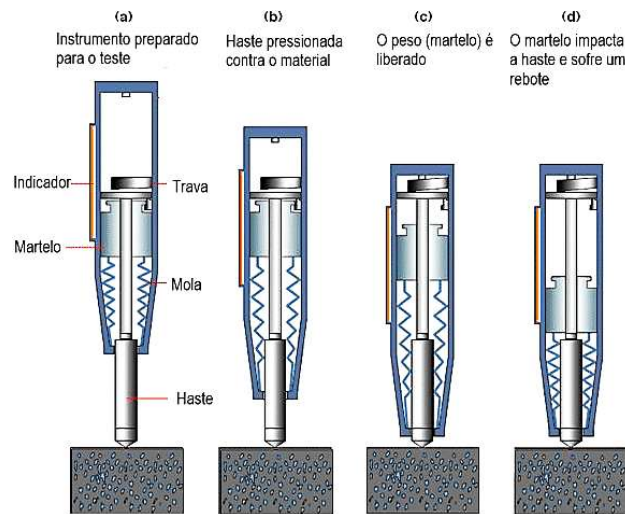


Figura 1. Ilustração esquemática do princípio de funcionamento do martelo de Schmidt.

O método anteriormente recomendado pela ISRM aprovava exclusivamente o uso do martelo de Schmidt do tipo L. No entanto, para um determinado diâmetro da ponta do êmbolo e raio de curvatura, a energia de impacto do martelo de Schmidt determina sua faixa de aplicabilidade. Assim, essa limitação deve ser considerada na seleção do tipo de martelo (Aydin & Basu, 2005).

Aydin (2009) comenta que os martelos padrão dos tipos L e N, com respectivas energias de impacto de 0,735 e 2,207 Nm, devem ser utilizados com cautela quando a resistência à compressão uniaxial (UCS) do material rochoso ou da parede da descontinuidade estiver fora da faixa de 20 a 150 MPa, tendo em vista que aí a sensibilidade do equipamento diminui e a dispersão dos dados aumenta. O martelo do tipo N é menos sensível às irregularidades superficiais, sendo preferido em aplicações de campo; enquanto o martelo do tipo L apresenta maior sensibilidade na faixa inferior de resistência, proporcionando melhores resultados em rochas brandas, porosas e intemperizadas.

A utilização de diferentes tipos de martelos resulta em conjuntos de dados que podem não ser diretamente correlacionáveis. Embora martelos padrão dos tipos L e N tenham demonstrado altos coeficientes de correlação, essas correlações podem não ser igualmente confiáveis em toda a faixa de valores de UCS, uma vez que são baseadas na suposição de que ambos os tipos de martelo produzem modos semelhantes de indentação em cada ponto de impacto. Além disso, a maior energia de impacto do martelo do tipo N, que testa um volume maior de material devido a uma penetração mais profunda e ampla, tende a reduzir a dispersão dos valores de rebote em comparação com os martelos do tipo L (Aydin, 2009).

Os martelos de Schmidt padrão dos tipos L e N são projetados para gerar diferentes níveis de energia de impacto. Contudo, as razões entre os valores de rebote medidos em diferentes superfícies (homogêneas) sob os dois níveis distintos de energia devem permanecer constantes; desde que o impacto do martelo (seja tipo L ou tipo N) resulte em compactação uniforme (ou seja, sem esmagamento de grãos individuais, colapso estrutural ou ocorrência significativa de trincas e fragmentações).

Assim, não está claro por que a ISRM (1978a) recomendou exclusivamente o uso do martelo tipo L para ensaios em rochas, enquanto a ASTM (2001) não especificou o tipo de martelo a ser adotado. Ayday e Goktan (1992) demonstraram que correlações confiáveis podem ser estabelecidas entre os valores de rebote (R) obtidos com os martelos dos tipos L e N.

Akbay (2023) menciona que, existem diversos estudos na literatura que investigam as correlações entre o índice de rebote (R) determinado com o martelo de Schmidt do tipo N ou do tipo L e a resistência à compressão uniaxial (UCS). No entanto, são poucos os estudos que analisam as relações e diferenças entre os índices de rebote obtidos com os diferentes tipos de martelos de Schmidt. Ayday e Goktan (1992), examinaram diretamente as relações entre os martelos tipo N e tipo L em suas pesquisas, tendo identificado fortes correlações entre os índices de rebote obtidos

com ambos os tipos. Por outro lado, Buyuksagis e Goktan (2007) (apud Akbay, 2023) investigaram o efeito do tipo de martelo de Schmidt na estimativa da resistência à compressão uniaxial de rochas e identificaram relações significativas entre ambos os tipos de martelo (N e L) e o índice UCS. Os autores também destacaram que o coeficiente de determinação entre o índice de rebote (R) obtido com o martelo tipo L e o UCS é relativamente superior ao mesmo coeficiente entre o índice de rebote (R) do martelo tipo N e o UCS.

Aydin é um dos autores que mais tem investigado e publicado trabalhos sobre o uso e aplicabilidade do martelo de Schmidt. No trabalho desenvolvido no ano 2005 foi proposta uma fórmula de correlação entre os rebotes $R(L)$ e $R(N)$, com base em testes de laboratório com ambos os martelos em amostras de granito (Figura 2). Os resultados demonstraram uma forte correlação entre os valores de $R(N)$ e $R(L)$, mesmo considerando uma ampla variação nos graus de intemperismo das amostras testadas. No entanto, uma maior dispersão dos dados foi consistentemente observada com o uso do martelo tipo L, indicando um aumento de sensibilidade à heterogeneidade da rocha, associada à sua menor energia de impacto. Contudo, Aydin (2009) ressalta que a relação proposta foi estabelecida com base em amostras cilíndricas com superfícies relativamente lisas, em condições específicas de laboratório. Assim, é esperado que o grau de correlação e a dispersão dos dados sofram algum tipo de variação em aplicações de campo e em ensaios realizados em rochas fracas e porosas, devido às diferenças nas energias de impacto.

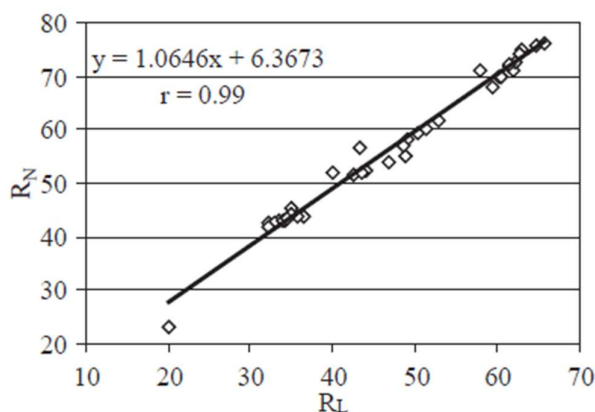


Figura 2. Gráfico de correlação entre os índices de rebote dos martelos tipo N e tipo L, proposto por Aydin e Basu (2005).

Bolla & Paronuzzi (2021) realizaram uma série de testes em campo utilizando os dois tipos de martelo. Os ensaios foram aplicados em vários tipos de maciços rochosos e permitiram estabelecer uma relação entre $R(L)$ e $R(N)$ com base nos valores médios dos índices de rebote medidos.

A correlação de melhor ajuste foi linear, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,97$ (Figura 3a). Essa relação foi expandida considerando-se pontos adicionais de $R(L)$ – $R(N)$, caracterizados por valores de índices de rebote mais baixos, fornecidos pelo fabricante do martelo, obtidos a partir de ensaios realizados em corpos de prova de concreto. Além disso, foi incluído um ponto de referência adicional, representado pelos valores de $R(L)$ – $R(N)$ relacionados à bigorna de verificação, conforme informado pelo fabricante. A nova relação apresentou um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,99$ (Figura 3b).

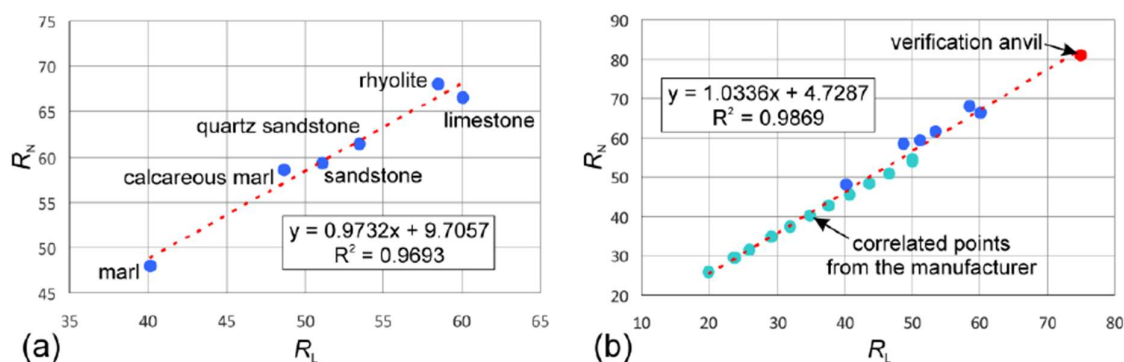


Figura 3. Relação entre RL e RN para: (a) os seis tipos de rochas testadas e (b) um conjunto de pontos incluindo também alguns ensaios realizados pelo fabricante em concreto e na bigorna de verificação (Bolla & Paronuzzi, 2021).

Sari (2018) fez uma consolidação de diversos trabalhos investigativos sobre as relações entre as propriedades de engenharia de diferentes tipos litológicos, consolidando várias constantes e equações de correlação para as propriedades físicas e mecânicas das rochas, utilizando ferramentas estatísticas para investigar o grau de confiança nos resultados obtidos.

O autor encontrou correlações significativas entre os valores de rebote dos dois modelos de martelo, obtidos em aplicações de campo, e concluiu, conforme já havia sido relatado por outros autores, que as correlações entre os valores de rebote e a resistência à compressão uniaxial (UCS) das rochas, utilizando o martelo tipo N, são consistentemente superiores às obtidas com o martelo tipo L. Com o intuito de superar a discrepância entre as leituras dos dois modelos e harmonizar os dados para um único valor de rebote do martelo de Schmidt, foi proposto, especificamente neste estudo, um novo fator de correção baseado na relação linear entre os valores de rebote dos martelos tipo N e tipo L apresentada na Figura 4.

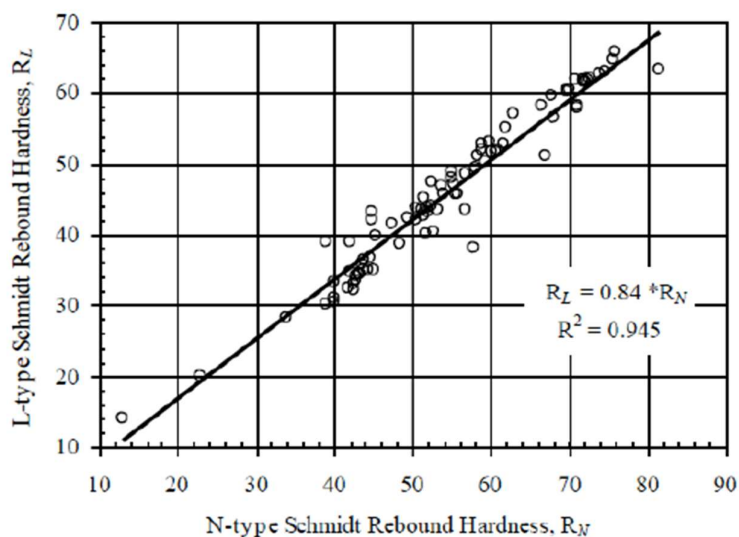


Figura 4. Relação entre a dureza de rebote dos martelos de Schmidt tipo N e tipo L (Sari, 2018).

Akbay & Ekincioglu (2023) realizaram testes com o martelo de Schmidt (SH) em sete diferentes tipos de rochas (incluindo rochas sedimentares, metamórficas e ígneas), utilizando martelos dos tipos N e L. Os ensaios foram conduzidos em amostras cúbicas e os resultados foram complementados com dados obtidos a partir de estudos disponíveis na literatura, os quais foram compilados e avaliados em conjunto com os dados dos ensaios realizados pelos autores. O trabalho também teve como foco o estudo da possibilidade de correlação entre os valores de R obtidos com o uso dos martelos dos tipos N (SHN) e L (SHL), para serem utilizados de forma confiável para converter um no outro, tendo em vista as altas correlações obtidas. Os resultados estão

apresentados na Figura 5, sendo definidos coeficientes de correlação considerando o total de dados (modelo preditivo). Posteriormente, foram realizados ajustes na reta de correlação com a finalidade de definir coeficientes de fatores de conversão direta (K).

Na Figura 5, observa-se claramente que os coeficientes de correlação dos fatores de conversão determinados (linha azul) são superiores aos coeficientes de correlação dos modelos preditivos elaborados por meio de análise de regressão simples (linha contínua preta). O autor também calculou os erros percentuais médios absolutos (MAPE) para medir a acurácia das estimativas realizadas pelos modelos preditivos e pelos fatores de conversão utilizados para converter os valores de SH das rochas com diferentes tipos de martelos (Tabela 1). Verifica-se que os valores de MAPE calculados para cada tipo de rocha são menores quando as estimativas são realizadas com base nos fatores de conversão (Tabela 1). Os coeficientes de conversão (K) determinados para a transformação dos valores de rebote entre os diferentes martelos fornecem resultados mais confiáveis do que os modelos preditivos construídos.

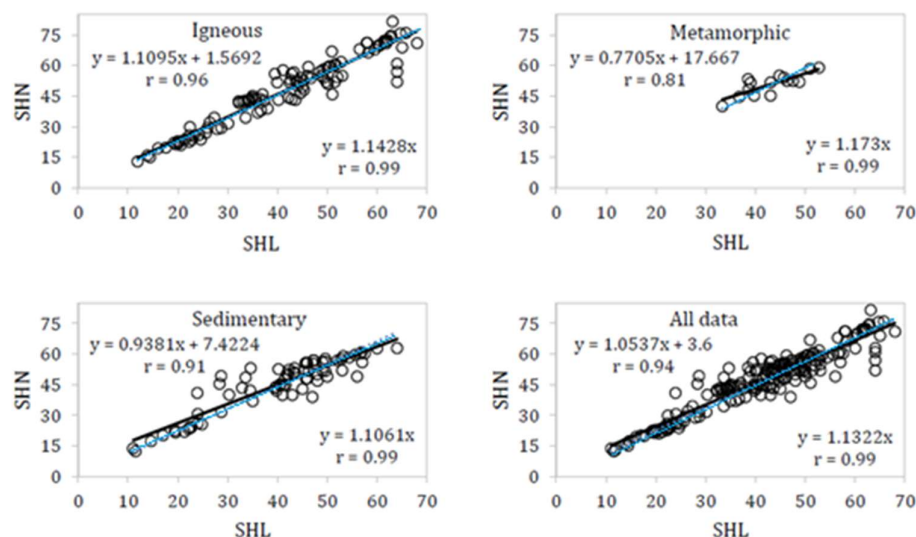


Figura 5. Relação entre os resultados de rebote obtidos para os martelos de Schmidt tipo N e tipo L (Akbay & Ekincioglu, 2023).

Tabela 1. Modelos de estimativa e coeficientes de fator de conversão (K) para a conversão dos valores de martelo de Schmidt tipo N e L (extraído e modificado de Akbay, 2023).

	Modelo Preditivo	MAPE	Coeficiente de Fator de Conversão (K)	MAPE
Igneous rocks	$y=1.1095 + 1.5692$	8.55	$y=1.1428x$	8.21
Metamorphic rocks	$y=0.7705 + 17.667$	16.32	$y=1.173x$	8.66
Sedimentary rocks	$y=0.9381 + 7.4224$	10.70	$y=1.1061x$	8.35
All Data	$y=1.0537 + 3.6$	9.24	$y=1.1322x$	8.20

3. APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CORRELAÇÃO – ESTUDO DE CASO

O ensaio do martelo de Schmidt (SH) foi realizado numa região onde ocorrem principalmente xistos quartzíticos. A campanha de campo consistiu na execução de séries de 10 ensaios em 65 pontos distribuídos ao longo de toda a área de levantamento. O tipo de martelo utilizado foi o Silver Schmidt tipo N, modelo SH01-011-0008. Os testes seguiram os critérios sugeridos pela norma ASTM D5873-14. No mapeamento de campo foram feitos testes com o martelo de geólogo para se definir indiretamente o grau de resistência dos materiais ensaiados.

Posteriormente, foi feito o processamento dos dados de campo. O critério para seleção dos dados válidos foi o da média espúria. Nesse critério, são cancelados os extremos (máximos e mínimos da série), de forma que as medições máximas e mínimas não são utilizadas na média

aritmética. Os resultados de rebote obtidos $R(N)$, estão apresentados na forma de histograma de frequência na Figura 6. Cabe ressaltar que foram feitos levantamentos em diversos tipos de superfícies de descontinuidades geológicas, tais como fraturas e foliações, incluindo superfícies afetadas por diversos graus de intemperismo. No entanto, para o presente trabalho, foi considerado o total do volume de dados, sem separação por tipo de superfície.

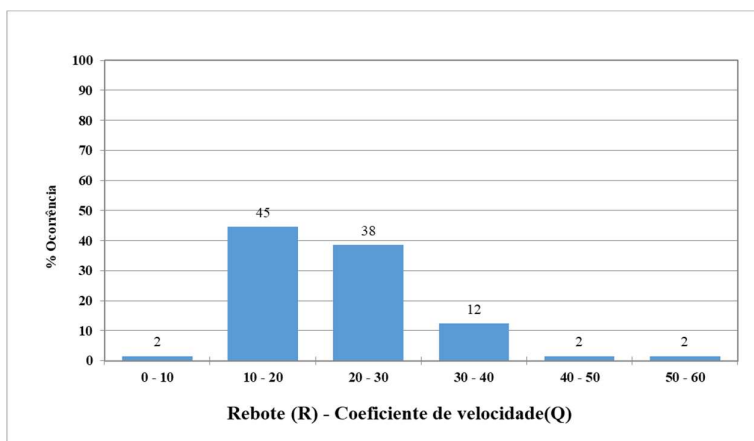


Figura 6. Histograma de frequência dos dados de rebote obtidos com o martelo tipo N.

Para se estimar o correspondente rebote do martelo de tipo L foram aplicadas as relações apresentadas no item 2. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 7. Nesse gráfico, para fins comparativos, foram plotados os valores de rebote $R(N)$ em forma de curva e em ordem crescente, juntamente com os valores de rebote $R(L)$ obtidos a partir das equações de correlação encontradas na literatura. O resultado foi, conforme esperado, valores de $R(L)$ inferiores aos valores de $R(N)$, isto é, quando aplicadas as formulações os valores correspondentes do rebote $R(L)$ são mais baixos. A faixa\porcentagem de redução variou a depender da metodologia aplicada, conforme mostrado nas curvas apresentadas na Figura 7.

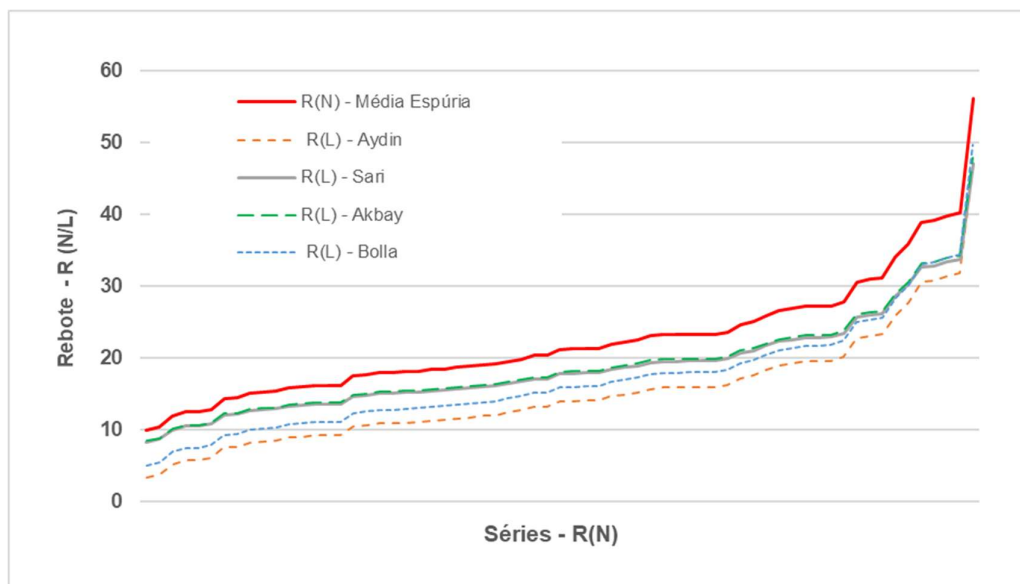


Figura 7. Resultados do rebote $R(N)$ convertidos em rebote $R(L)$, mediante as equações de correlação encontradas na literatura.

Na Figura 8 é individualizado o resultado de $R(L)$ obtido quando se aplica a fórmula de correlação proposta por Aydin & Basu (2005). Conforme pode ser observado no gráfico, para valores baixos de rebote $R(N)$ (inferiores a 10) foram obtidos valores correspondentes de $R(L)$ reduzidos em até 67% do $R(N)$ original. Para valores maiores a taxa de redução do rebote vai diminuindo, chegando a 17% para valores de $R(N)$ acima de 50. A taxa de redução é representada pela curva tracejada

vermelha no gráfico. Os valores de $R(N)$ e o correspondente valor de $R(L)$ em cada ponto amostral são representados pelas barras cujo cume significa o valor obtido em cada ensaio.

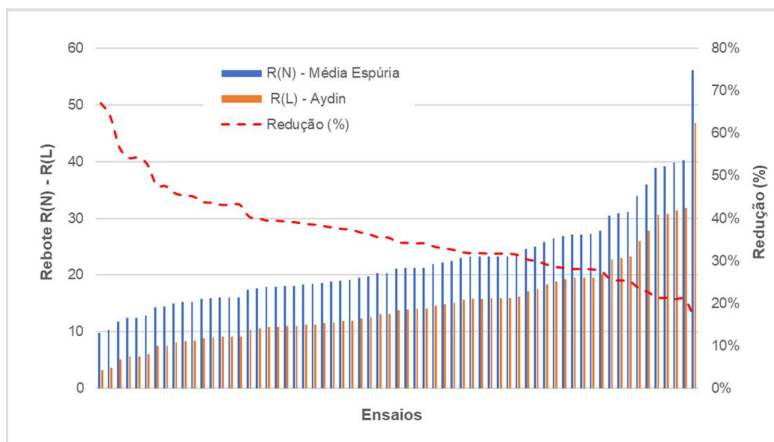


Figura 8. Gráfico comparativo mostrando a redução dos valores de rebote $R(N)$ quando aplicada a equação de correlação proposta por Aydin & Basu (2005) para obter valores de rebote $R(L)$.

Na Figura 9 é apresentado o resultado de $R(L)$ obtido quando aplicada a fórmula de correlação proposta por Bolla & Paronuzzi (2021). Por essa metodologia, os valores de rebote de $R(N)$ inferiores a 10 foram reduzidos em até 50% quando convertidos para o $R(L)$. E a redução chega a 10% no caso dos $R(N)$'s superiores a 50. Esse resultado indica que a redução do valor do rebote é ligeiramente menor quando comparada com a da metodologia de Aydin & Basu (2005). A taxa de redução é representada pela curva tracejada verde no gráfico. O valor de $R(N)$ e o correspondente valor de $R(L)$ em cada ponto amostral são representados pelas barras cujo cume significa o valor obtido em cada ensaio.

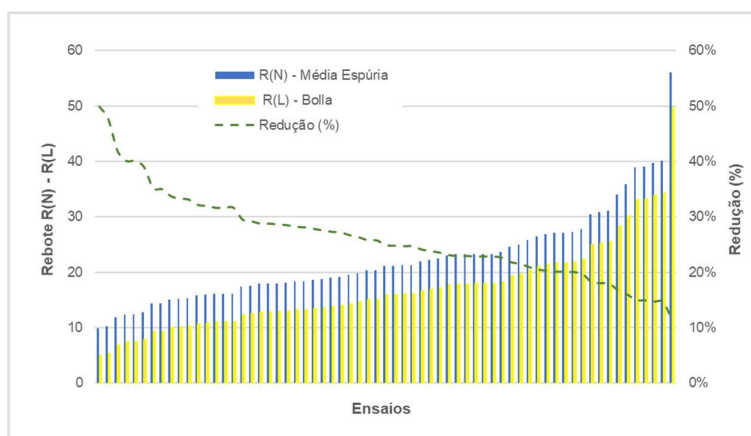


Figura 9. Gráfico comparativo mostrando a redução dos valores de rebote $R(N)$ quando aplicada a equação de correlação proposta por Bolla & Paronuzzi (2021) para obter valores de rebote $R(L)$.

No caso das equações propostas por Sari (2018) e Akbay & Ekincioglu (2023), como foram propostas na forma de um fator de redução, isto é, sem o intercepto que representa o valor de $R(L)$ quando $R(N)$ é zero, a redução fica constante para qualquer faixa de valores de rebote, chegando em ambas a somente 15%, resultado que, a critério dos autores é mais próximo da realidade. Dessa forma, foi escolhido o fator de conversão (K) para rochas metamórficas proposto por Akbay & Ekincioglu (2023) como critério para se definir os valores de $R(L)$ a partir dos dados levantados com o martelo tipo N.

Uma vez definido o critério de correlação mais aplicável, a próxima etapa consiste na determinação dos valores de UCS para o material ensaiado. A forma mais direta consiste em realizar ensaios de compressão uniaxial em laboratório nas mesmas amostras e estabelecer uma curva de correlação entre os valores de rebote e os valores de UCS obtidos em laboratório. A ausência desse tipo de ensaio de UCS no local de estudo, obrigou a utilizarem-se fórmulas de correlação disponíveis na

literatura técnica. Nesse contexto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para definir as equações que melhor representem os valores de UCS esperados para o tipo de material ensaiado. Destaca-se a predominância de equações empíricas de correlação desenvolvidas para o martelo de Schmidt do tipo L, se comparadas às do tipo N, evidenciando-se uma maior frequência de estudos e aplicações voltados ao tipo L.

Na Figura 10 são apresentadas várias curvas de correlação obtidas no presente trabalho de investigação, geradas a partir dos dados de rebote $R(L)$ obtidos com a aplicação do fator K proposto por Akbay & Ekincioglu (2023) aos valores de $R(N)$. A critério dos autores a curva que mais se aproxima às condições observadas em campo é a de Aufmuth (1973) (apud Torabi & Ataei, 2010), os valores de UCS tendo sido calculados com base nessa equação.

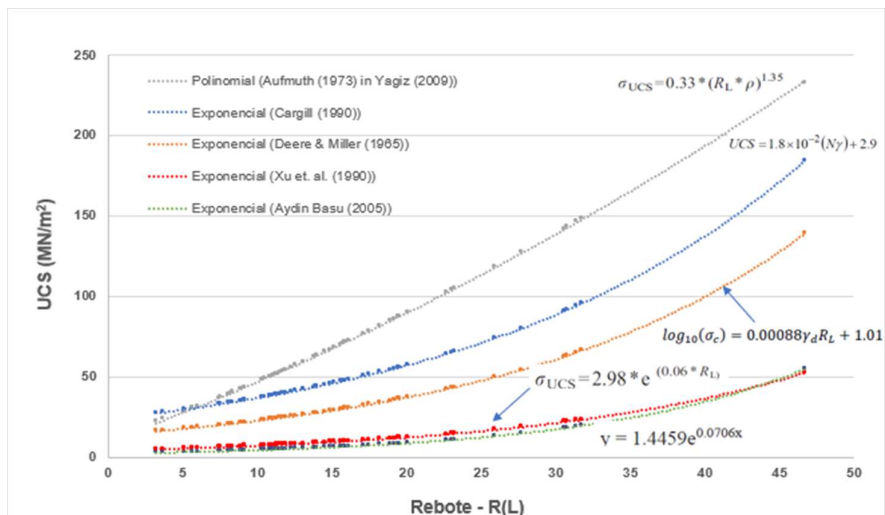


Figura 10. Determinação do UCS a partir do rebote $R(L)$ com as diversas equações de correlação.

4. CONCLUSÕES

Os trabalhos analisados demonstram que existe uma relação direta entre os valores de rebote obtidos com os martelos do tipo L (SHL) e N (SHN). Dessa forma, podem ser utilizadas na prática, para fins de estimativa, as equações de regressão que utilizam valores de rebote $R(L)$, mesmo que se tenha empregado um martelo do tipo N e vice-versa;

De todas as equações analisadas para a relação entre os diferentes rebotes, aquelas com valores do coeficiente de determinação (R^2) mais elevados foram as curvas de regressão lineares passando pela origem, as quais permitem estabelecer um simples fator de conversão (K). Conforme pode ser verificado nos gráficos apresentados por Akbay & Ekincioglu (2023) (Figura 5), os valores de R nesses casos estão sempre acima de 0,98, o que indica um alto grau de correlação entre as duas variáveis. Esse ajuste evita a penalização excessiva dos dados quando são obtidos valores baixos de rebote (localizados no início da reta de correlação $R(N) - R(L)$). Os autores acreditam que a sugestão, evidenciada pelos resultados aqui obtidos, de existir um simples fator de conversão entre os rebotes, é nada além de uma decorrência direta da diferença de energia de impacto existente entre os dois martelos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à TEC3 pelo fornecimento dos dados.

REFERÊNCIAS

- AKBAY, D., & EKINCIOGLU, G. (2023). Suggesting Conversion Factor Coefficients for Estimating Different Types of Schmidt Hammer Rebound Hardness Values. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 11(2), 719-728. <https://doi.org/10.21923/jesd.1177233>.
- ASTM. (2001). Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. ASTM Stand. 04.09 (D 5873-00).
- AYDAY, C., GOKTAN, R.M. (1992) Correlations between L and L-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, 14-17 September 1992, Chester, U.K., J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 47-50.
- AYDIN, A. & BASU, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81 (1), 1-14.
- AYDIN, A. (2009). Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness. Reprinted from *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, The University of Mississippi University, Oxford, 627–634
- BARTON, N, & CHOUBEY, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics* 1977;10(1/2):1–54.
- BOLLA A., & PARONUZZI, P. (2021). UCS field estimation of intact rock using the Schmidt hammer: A new empirical approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 833(1): 012014.
- GOUVEIA, G. V. (2018). Estudo dos parâmetros relacionados à natureza das descontinuidades e sua aplicação a maciços rochosos de mineração. 2018. 217 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- PROCEQ. (2018). Esclerômetros Schmidt Para Ensaio Em Concreto E Rochas. Disponível em: <<https://www.proceq.com/pt/compare/schmidt-esclerometros/>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- SARI, M. (2018). Investigating Relationships between Engineering Properties of Various Rock Types. *Global Journal of Earth Science and Engineering*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1–25.
- TORABI, S.R., & ATAIEI, M. (2010) Application of Schmidt rebound number for estimating rock strength under specific geological conditions, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology; Shahrood, Iran Faculty of Mining Engineering, Birjand University; Birjand, Iran