

# Avaliação do Intemperismo em Filitos por Meio da Colorimetria

Marcio Fernandes Leão 1

Geólogo-Geotécnico, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, marcio.leao@tractebel.engie.com

Eduardo Antônio Gomes Marques 2

Geólogo-Geotécnico, UFV, Viçosa, Brasil, emarques@ufv.br

**RESUMO:** As consequências do intemperismo são muito distintas para diferentes tipos de rocha e, portanto, não é exequível a proposição de uma classificação única adequada para todos os tipos de rochas, estilos de intemperismo e escalas de observação e que sejam úteis para aplicações em Geologia de Engenharia. Desta forma, existem muitas proposições para classificar o efeito do intemperismo nas rochas, o que além de gerar um aumento na quantidade de termos empregados, possibilitando ainda o uso inadequado desses. Assim, ensaios expeditos na matriz podem auxiliar a padronizar as classificações do intemperismo, sendo um deles o colorímetro. O objetivo do artigo é demonstrar como o uso do colorímetro pode auxiliar na identificação dos graus de intemperismo. Para tal, amostras de filitos em níveis de alteração: são (W1), levemente intemperizado (W2), medianamente intemperizado (W3) e altamente intemperizado (W4), foram efetuados testes em colorímetro (BYK, modelo portátil). Foram realizados testes na matriz da rocha, com mínimo de dez medidas e máximo de trinta medidas, em pontos aproximadamente equidistantes. Cabe ressaltar que o espaçamento entre os pontos é dependente da regularidade da superfície de aplicação. Os resultados indicam que o efeito da alteração nos filitos não causa descoloração da rocha e sim mudança de cor, evidenciando a necessidade de adaptar as classificações de campo para descrição do estado de rochas. Conclui-se que o ensaio na superfície da matriz rochosa pode ser um ensaio expedito a ser incorporado na classificação dos graus de intemperismo de rochas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Intemperismo, Rochas Brandas, Colorimetria, Quadrilátero Ferrífero.

**ABSTRACT:** The consequences of weathering are very specific to different rock types and, therefore, it is not feasible to propose a single classification suitable for all rock types, weathering styles and observation scales and which are useful for applications in Engineering Geology. Therefore, there are many propositions to classify the effect of weathering on rocks, which in addition to generating an increase in the number of terms used, also enabling their inappropriate use. Thus, expeditious tests in the matrix can help standardize weathering classifications, one of them is the colorimeter. The objective of the article is to demonstrate how the use of a colorimeter can help identify degrees of weathering. To this purpose, filter samples at levels of change: fresh (W1), slightly weathered (W2), moderately weathered (W3) and highly weathered (W4), tests were carried out on a colorimeter (BYK, portable model). Tests were carried out on the rock matrix, with a minimum of ten measurements and a maximum of thirty measurements, at approximately equidistant points. It should be noted that the spacing between the points depends on the regularity of the application surface. The results indicate that the effect of alteration on phyllites does not cause discoloration of the rock but rather a change in color, highlighting the need to adapt field classifications to describe the state of rocks. It is concluded that the test on the surface of the rock matrix can be an index test to be incorporated into the classification of rock weathering degrees.

**KEYWORDS:** Weathering, Soft Rocks, Colorimetry, Quadrilátero Ferrífero.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Leão (2017), o intemperismo é um processo responsável por modificar quimicamente e fisicamente as rochas, resultando diretamente em impactos negativos, do ponto de vista geotécnico, em suas propriedades químicas, físicas, bem como suas propriedades mecânicas. Além disso, o intemperismo promove uma reorganização do padrão de distribuição espacial das rochas com diferentes intensidades de alteração intempérica e comportamentos geomecânicos na escala do maciço rochoso. Pelas razões expostas,

há muitos anos, o processo de intemperismo e seus produtos derivados têm despertado interesse para as investigações geotécnicas, análises de estabilidade e projetos de engenharia em maciços rochosos.

A depender da rocha, o intemperismo se desenvolve no maciço rochoso de maneira distinta e dependente das propriedades intrínsecas da rocha intacta e descontinuidades. Desta forma, não é razoável utilizar uma única classificação sobre o efeito do intemperismo no maciço, visando a sua identificação. Assim, a classificação para identificar a evolução nos maciços necessita da compreensão: do efeito do intemperismo nas rochas, do estilo do intemperismo e escalas de observação, devendo trazer uma linguagem comum entre geólogos, engenheiros e demais profissionais.

A caracterização do intemperismo é complexa, mas pode ser estimada por meio avaliações simples in situ, por meio de instrumentos como: o martelo do geólogo e lâminas de aço, sobre a superfície da matriz da rocha e em descontinuidades. A intenção dessa metodologia é estabelecer grupos homogêneos e, então, mapeá-los no maciço rochoso (GCO, 1988; RAJ, 1983; GAMON, 1983). Dentre as sugestões comumente utilizadas com esse objetivo, pode ser mencionada a classificação da ISRM (2015), apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. Classes de alteração intempélica das rochas (ISRM, 2015) (adaptada).

Termo	Descrição	Classe
Sã	Nenhum sinal visível de alteração da matriz; possível leve descoloração ao longo das descontinuidades principais.	W1
Levemente Intemperizado	Descoloração indica intemperismo da matriz da rocha e desuperfícies de descontinuidade. Toda a matriz da rocha pode estar descolorida pelo intemperismo e pode estar algo mais branda externamente do que na condição sã.	W2
Medianamente Intemperizado	Menos da metade da matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	W3
Altamente Intemperizado	Mais da metade da matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente, formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	W4
Completamente Intemperizado	Toda a matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. A estrutura original do maciço está, em grande parte, preservada.	W5
Solo Residual	Toda a rocha está convertida em solo. A estrutura do maciço e da matriz da rocha está destruída. Há uma grande variação de volume, mas o solo não foisignificativamente transportado.	W6

Conforme a classificação da ISRM (2015) a cor é uma dessas características que marcam a evolução do intemperismo, além do brilho e condições relacionadas a coerência e consistência da rocha intacta. Desta forma, por ser um parâmetro de fácil reconhecimento e por vezes associados à mudança mineralógica e processos geológicos, como a cimentação, por exemplo, essa característica pode ser utilizada em métodos laboratoriais conhecidos, como o colorímetro, para sua determinação.

Assim, o objetivo do artigo é demonstrar como o uso do colorímetro pode auxiliar na identificação dos graus de intemperismo. Para tal, amostras de filitos em níveis de alteração: são (W1), levemente intemperizado (W2), medianamente intemperizado (W3) e altamente intemperizado (W4), foram efetuados testes em colorímetro (BYK, modelo portátil). Além disso, foram incluídas nas análises pelo equipamento amostras do nível W2 com porções cimentadas.

## 2 METODOLOGIA

A avaliação da variabilidade de cores para os graus de intemperismo de filito (W1 a W4) foi realizada por meio de ensaios em colorímetro (equipamento portátil BYK). O sistema de obtenção da informação é baseado em sistema de cor expresso por coordenadas (Figura 1), ou seja,  $L^*$  (localização da cor no eixo claro-escuro), variando entre  $L^* = 0$  preto e  $L^* = 100$  branco e,  $a^*$  e  $b^*$  (variações do tom e croma,

respectivamente) cujos eixos são dispostos ortogonalmente entre si e podem variar entre -50 (verde e azul, respectivamente) a + 50 (vermelho e amarelo, respectivamente).

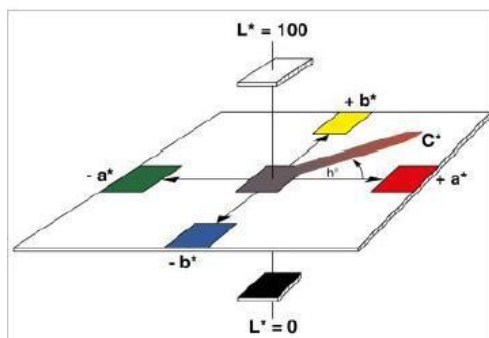


Figura 1. Sistema de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (CIELAB, 1976).

Ao término das medidas é determinada a variação total da cor ( $\Delta E^*$ ), sendo expressa pela raiz quadrada da soma das diferenças quadráticas de cada vetor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), conforme Equação 1:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

A obtenção dessas informações foi baseada na medição mínima de dez e máximo de trinta medidas, em pontos aproximadamente equidistantes, em blocos de filito nos graus de intemperismo W1 a W4. Cabe ressaltar, que o espaçamento entre os pontos é dependente da regularidade da superfície de aplicação. A título de comparação, foi avaliada uma amostra de bloco de grau W2 (W2 cimentado) que apresentou cimentação presente nos planos de foliação e na superfície avaliada. A Figura 2 exemplifica como o equipamento é posicionado sobre a amostra de rocha para a medição.



Figura 2. Detalhes do colorímetro durante o teste da cor na matriz da rocha filítica (W2).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da colorimetria são apresentados nas Figuras 3 a 6 e nas Tabelas 1 a 3 contendo os valores obtidos para  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (intensidade cor vermelha/verde),  $b^*$  (intensidade da cor amarelo/azul) e  $\Delta E^*$  (Tabela 4) (variação total da cor), para os níveis de alteração W1 a W4; os resultados do grau W2 (com cimentação) também são apresentados junto aos outros níveis (cor laranja).

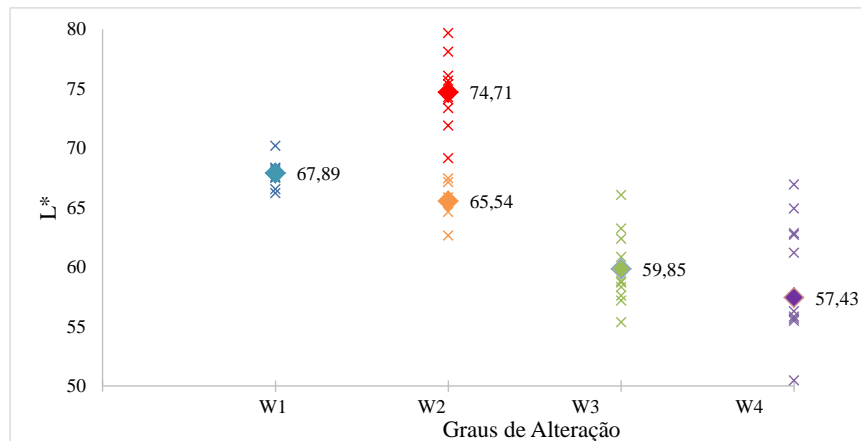


Figura 3. Valores da luminosidade  $L^*$  para os graus de alteração dos filitos (W1 a W4 e, W2 cimentado – cor laranja). Em destaque o valor correspondente a média das medidas.

Tabela 1. Valores da luminosidade  $L^*$  para os graus de alteração.

Grau de Alteração	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média (10 medições)	Desvio Padrão(%)
W1	66,21	70,20	67,89	1,10
W2	69,16	79,67	74,71	2,85
W2 (cimentação)	62,64	67,44	65,54 (5 medições)	1,97
W3	55,36	66,05	59,85	3,24
W4	39,40	66,93	57,43	7,76

Analisando os resultados para  $L^*$  nota-se uma tendência da redução deste parâmetro com a evolução do intemperismo, ou seja, as amostras escurecem. Esse fato pode ser explicado pela alteração da mica na rocha, responsável pelo brilho. Nos planos da foliação a luminosidade foi distinta ao padrão, provavelmente devido ao desenvolvimento de minerais secundários de sericita. Leão (2017) identifica que com o avanço do intemperismo para o filito em questão há redução da quantidade de muscovita e aumento da sericita, onde basicamente a distinção entre esses dois minerais se dá nas bordas da muscovita. Em específico para a amostra W2 observou-se que ela apresentava uma concentração de quartzo maior nas superfícies analisadas, podendo ter influenciado no aumento da luminosidade. Entretanto, para W2 cimentação, o processo de concentração de soluções mineralizadas e precipitadas de óxidos, favoreceu a redução da luminosidade.

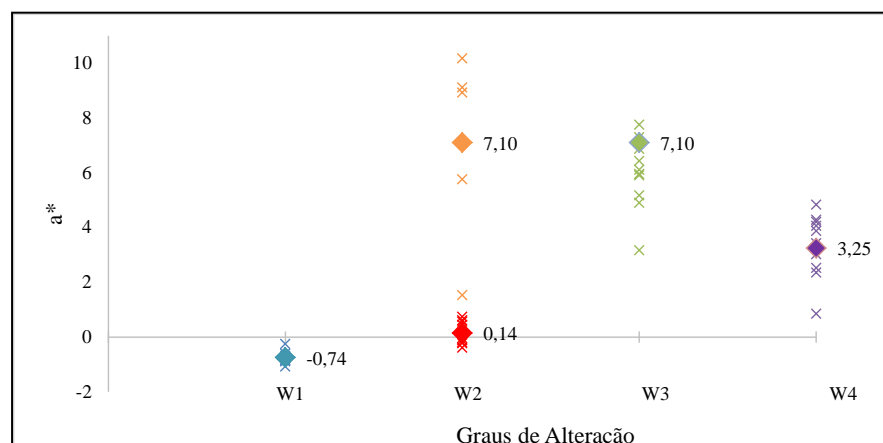


Figura 4. Valores da intensidade de cor vermelho/verde  $a^*$  para os graus de alteração dos filitos (W1 a W4 e, W2 cimentação – cor laranja). Em destaque o valor correspondente à média das medidas.

Tabela 2. Valores da intensidade cor vermelho/verde  $a^*$  para os graus de alteração.

Grau de Alteração	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média (10 medições)	Desvio Padrão (%)
W1	-1,08	-0,25	-0,74	0,22
W2	-0,39	0,61	0,14	0,39
W2 (cimentação)	1,53	10,17	7,10 (5 medições)	3,52
W3	3,17	7,75	5,95	1,32
W4	0,85	4,83	3,25	1,16

Os valores da intensidade de cor  $a^*$  também mostraram tendência, todavia crescente com o aumento do intemperismo. No caso das análises nos níveis W2 cimentação e W3, os valores mais altos de  $a^*$ , com tendência a cor vermelha, já eram esperados, considerando que superficialmente as amostras, pontualmente, já apresentavam manchas avermelhadas e partes avermelhadas a rosadas, respectivamente. Essas características foram vistas a olho nu, sendo associadas a cimentações que ocorrem na rocha. Considerando que o maciço de origem metamórfica é condicionado pela sua compartimentação estrutural, esse comportamento não é homogêneo, ou seja, podem existir amostras (comparando W2 e W2 cimentação) que o intemperismo foi ameno nos planos de foliação e restringiu o processo de cimentação. W4 tende a apresentar uma cor mais acinzentada a esverdeada devido ao aumento de sericita na rocha.

Em relação ao efeito da cimentação associada a complexidade estrutural do maciço rochoso pode ser compreendida dada a proximidade do maciço, objeto do estudo, com regiões mineralizadas, onde o processo de lixiviação e percolação de soluções mineralizadas pelas descontinuidades são favorecidas. Assim, quanto maior o intemperismo, maior a tendência no aumento da abertura e persistência da descontinuidade, além da redução do espaçamento entre elas, favorecendo o enriquecimento de zonas cimentadas concentradas nos planos de descontinuidades, neste caso não apenas a foliação da rocha, como também fraturas em outras direções a esses planos principais.

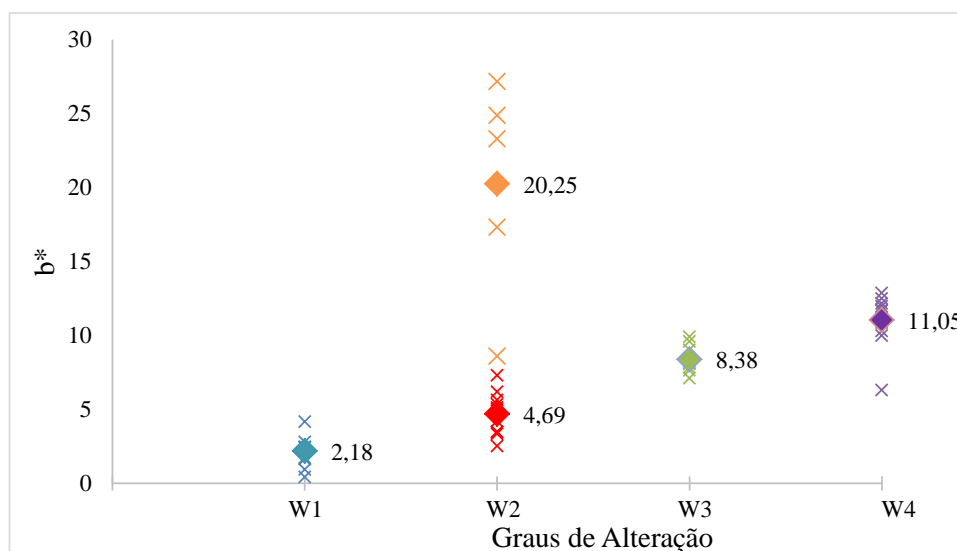


Figura 5. Valores da intensidade de cor amarelo/azul  $b^*$  para os graus de alteração dos filitos (W1 a W4 e, W2 cimentação – cor laranja). Em destaque o valor correspondente a média das medidas.

Semelhante ao parâmetro  $a^*$  o parâmetro  $b^*$  mostrou tendência crescente conforme o intemperismo progride, estando provavelmente associadas aos planos de foliação da rocha. Esses planos exibem cores amarelas a amareladas, levemente avermelhadas, possivelmente fruto da alteração de minerais máficos. Em amostras ricas em planos cimentados, ocorre uma direta influência desses elementos no aumento do parâmetro  $a^*$ .

Tabela 3. Valores da intensidade cor amarelo/azul b\* para os graus de alteração.

Grau de Alteração	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média (10 medições)	Desvio Padrão (%)
W1	0,42	4,17	2,18	1,06
W2	2,52	7,30	4,69	1,43
W2 (cimentação)	8,60	27,17	20,25 (5 medições)	7,46
W3	7,10	9,91	8,38	0,88
W4	6,31	12,87	11,05	1,80

O parâmetro  $\Delta E^*$  mostrou expressiva variação conforme a evolução do grau de intemperismo, principalmente para os níveis W2 cimentação, W3 e W4. Esses níveis apresentaram maior desvio padrão, respectivamente, o que era esperado considerando que o intemperismo atua em função da compartimentação estrutural do maciço e o agente intempérico (geralmente a água). De toda forma, quando se compara W1, W3 e W4 é possível notar o decréscimo da variação total da cor da amostra (resultados de luminosidade, e das cores vermelho/verde e amarelo/azul), onde visualmente é possível observar além do escurecimento a mudança de coloração de cinza para cores cinza-esverdeada a amarronzada. Essa característica é reflexo do desenvolvimento de sericita e decomposição da sericita, conforme Figura 7. Entretanto, as amostras de W2 não acompanharam diretamente essa redução, provavelmente pelo enriquecimento de quartzo das amostras analisadas. Entretanto, para W2 cimentação esse parâmetro mostrou menor dispersão e variação de  $\Delta E^*$ , provavelmente pela presença de planos cimentados que influenciaram as cores analisadas.

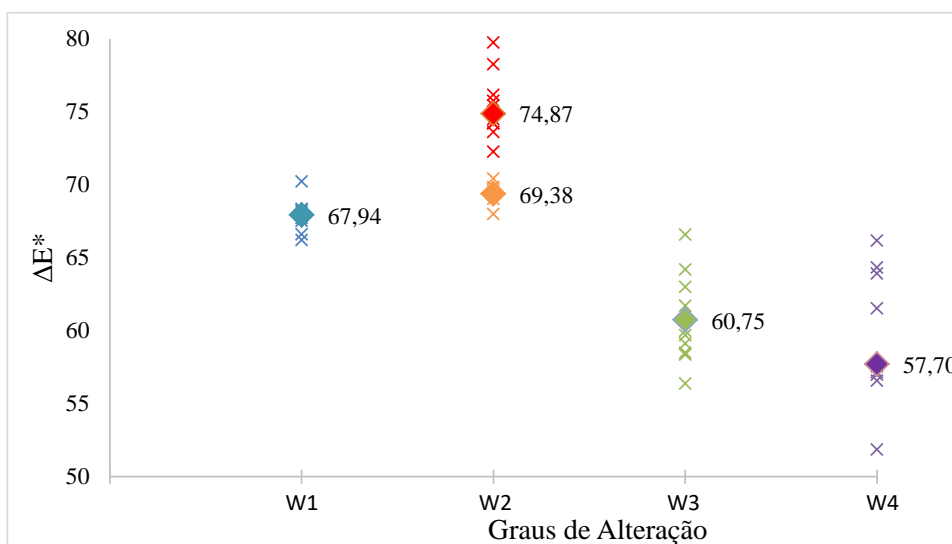


Figura 6. Valores da variação total da cor  $\Delta E^*$  para os graus de alteração dos filitos (W1 a W4 e, W2 cimentação – cor laranja). Em destaque o valor correspondente a média das medidas.

Tabela 4. Valores da variação total da cor  $\Delta E^*$  para os graus de alteração.

Grau de Alteração	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média (10 medições)	Desvio Padrão (%)
W1	66,22	70,22	67,94	1,09
W2	69,37	79,75	74,87	2,79
W2 (Cimentação)	68,00	70,43	69,38 (5 medições)	0,92
W3	56,38	66,59	60,75	3,09
W4	40,91	66,18	57,70	7,36

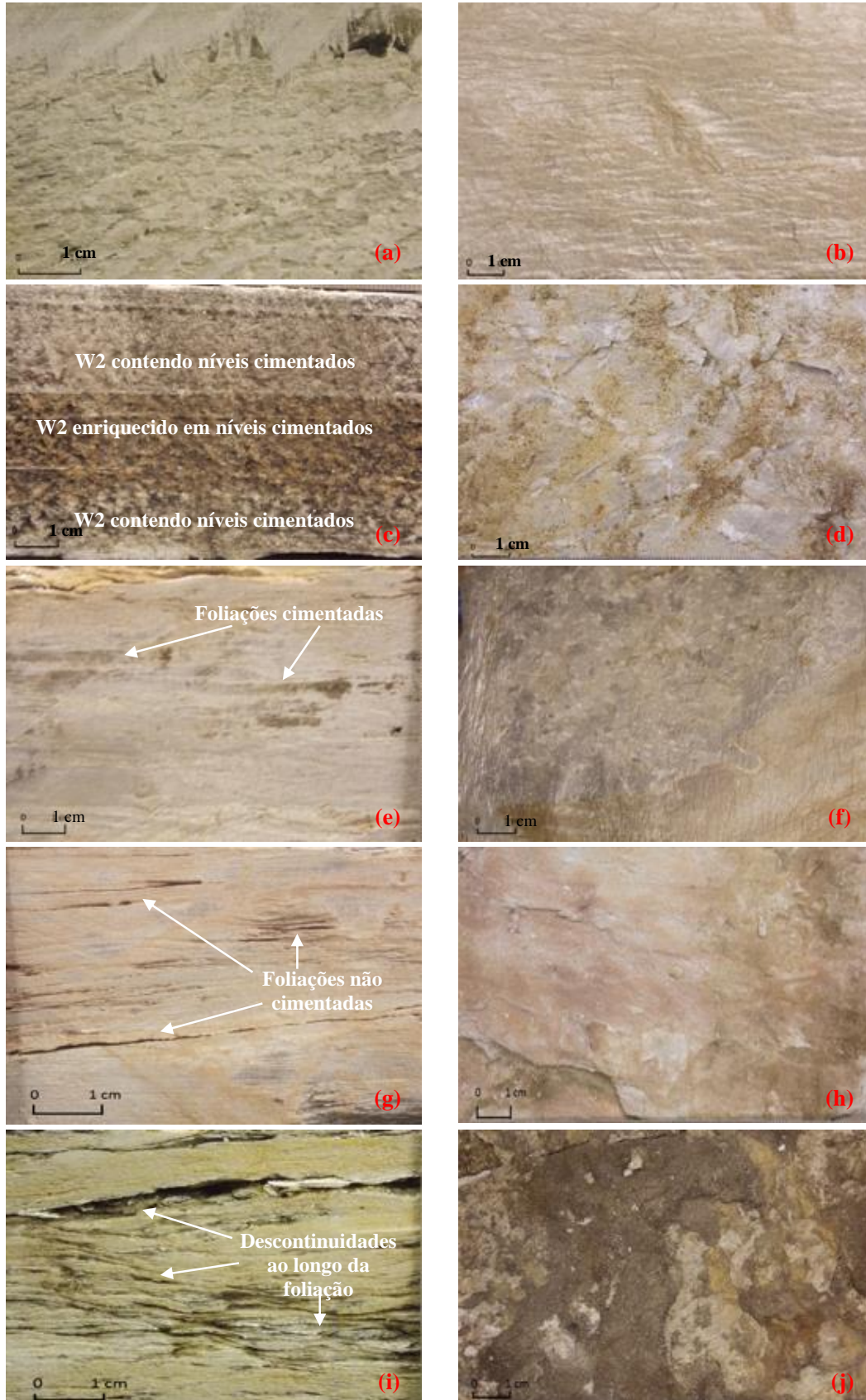


Figura 7. Aspecto das amostras avaliadas com destaque para os planos de foliação observados no sentido ortogonal (à esquerda) e paralelo (à direita) dos graus de alteração: W1 (a) e (b), W2 cimentação (c) e (d), W2 (e) e (f), W3 (g) e (h) e W4 (i) e (j), respectivamente (Leão et. al, 2017 - adaptado).

Ao avaliar os resultados é possível notar que para filitos, a colorimetria como ensaio índice mostra variação sutil para compreensão da evolução do intemperismo. Apesar da progressiva perda de brilho, as variações das cores são muito influenciadas pela mineralogia presente na rocha, tanto pela mudança mineralógica (neominerais) como pela presença de cimentação mineral nos planos de foliação da rocha. Portanto, entende-se que as amostras não sofrem descoloração e sim mudança de cor.

Além disso, destaca-se o cuidado na seleção de amostras, pois a classificação do intemperismo original proposta pela ISRM (2015) pode gerar dúvidas pela incompatibilidade de características a serem associadas com os graus de intemperismo estudados. Cita-se como exemplo, que para a definição do grau W1, a ponta do martelo geológico arranha com dificuldade a superfície da rocha e a rocha quando golpeada emite sons similares a sinos. Para o caso de W6, a rocha seria classificada nesse grau quando a estrutura da rocha é completamente destruída e a ponta do martelo geológico penetra facilmente criando sulcos, cujo material não emitiria sons ao ser golpeada pelo martelo. Deste modo, ensaios-índices adicionais podem ser utilizados em conjunto com a colorimetria para melhor classificação do intemperismo (LEÃO, 2017).

#### 4 CONCLUSÕES

A avaliação da mudança de cores e luminosidade mostrou-se efetiva para comprovação da ação do intemperismo sobre as rochas analisadas, especialmente comparando a rocha sã (W1) com a rocha altamente intemperizada (W4). Por ser um método simples e de baixo custo, pode ser uma rotina incorporada nas caracterizações dos maciços rochosos para determinação da ação intempélica nesses.

É importante ressaltar que a seleção das amostras analisadas deve ter, antecipadamente, o reconhecimento de variáveis que possam influenciar o método, como por exemplo, o enriquecimento de determinado ou mineral ou resultado de algum processo secundário no maciço. Com base nos resultados pode se afirmar que o efeito da alteração nos filitos não causa descoloração da rocha e sim mudança de cor, o que evidencia a necessidade de adaptar as classificações de campo para descrição do estado de rochas, principalmente para as de baixo grau metamórfico, como os filitos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIELAB – Commission International de Eclairage (1976) Recommendations on Uniform Color Spaces, Color Difference Equations, Psychometric Color Terms. Supplement 2 to CIE publication 15. Colorimetry Bureau Central de la CIE. Paris.
- Gamon, T. I. (1983) A comparison of schemes for engineering description and classification of weathered rocks in Hong Kong. Bulletin of International Association of Engineering Geology, n. 28, p. 225-232.
- GCO: Geotechnical Control Office (1998). Guide to rock and soil descriptions. Geotechnical Control Office, Hong Kong Government Printer, Hong Kong.
- ISRM – International Society of Rock Mechanics (2015). The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. 5 ed., R. Ulusay (Editor).
- Leão, M. F., Barroso, E. V., Polivanov, H., Marques, E. A. G., Vargas Jr. A. E. (2017) Weathering of metapelites from the Quadrilátero Ferrífero mineral province, southeastern Brazil. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 76, p. 1-15.
- Leão, M.F. (2017) Comportamento geomecânico de frente de intemperismo em filito da região do Quadrilátero Ferrífero. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia/UFRJ (Geology), Department of Geology, UFRJ, Rio de Janeiro, 187 p.
- Raj, J. K. (1983) Characterisation of weathering profiles developed over granitic bedrock in humid tropical areas. In: International Seminar on Laterite, Anais... Kuala Lumpur, v. 1, p. 355-374.
- Raposo, F. O. (1996) Formações ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero Ferrífero e suas relações com níveis rudáceos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências/UFMG, 127 p.