

PRÁTICAS EM GEOCIÊNCIAS: CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E GEOTÉCNICA IN SITU DE PERFIS DE INTEMPERISMO DE ARENITOS DA BACIA DO PARANÁ NO TRIÂNGULO MINEIRO (MG)

LILIAN GABRIELLA BATISTA GONÇALVES DE FREITAS¹, EDUARDO ANTÔNIO GOMES MARQUES².

¹Universidade Federal de Viçosa
E-mail: lilian.freitas@ifes.edu.br

²Universidade Federal do Espírito Santo
E-mail: emarques@ufv.br

RESUMO:

Este artigo apresenta os resultados de um estudo da morfologia de oito perfis de intemperismo desenvolvidos em alguns arenitos sob condições climáticas tropicais na região de Uberaba, no Estado de Minas Gerais, onde é possível observar características geológicas cuja análise contribuem para o ensino e aprendizado por meio de atividades práticas. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de campo, com coleta de amostras e análise de laboratório à luz das referências. O artigo contém dados, como a descrição de cada afloramento, bem como caracterização geotécnica *in situ* detalhada e registros fotográficos podendo levar a uma compreensão mais aprofundada dos conteúdos. Entre os oito afloramentos visitados, três foram selecionados com foco em diferentes classes de intemperismo, incluindo várias características da matriz das rochas e do perfil geológico como um todo. Os resultados mostram que os perfis de intemperismo dos arenitos apresentam uma fina camada de solo na porção superior dos perfis, os contatos entre diferentes camadas de material são tipicamente abruptos. Um forte controle estrutural sobre o intemperismo das rochas pode ser observado nos afloramentos, representado pela presença de juntas de alívio de tensão paralelas ao acamamento. Este controle desempenha um papel importante na diferenciação das camadas de rocha e nas classes de intemperismo. Finalmente, os parâmetros de dureza provaram serem úteis para a distinção de diferentes materiais intemperizados, principalmente quando relacionados com o estudo da matriz rochosa.

PALAVRAS-CHAVE:

Espaço não formal; perfil de intemperismo; arenitos; geomecânica; morfologia.

ABSTRACT:



This paper presents the results of the morphology of sandstone weathering profiles developed under tropical conditions in the region of Uberaba, in the state of Minas Gerais, where it is possible to observe geological characteristics, which contribute to teaching and learning through practical activities. The paper contains data, such as the description of each outcrop, as well as detailed in situ geotechnical characterization and photographic records, which can lead to a more detailed understanding of the contents worked in the classroom, clarifying and giving meaning to learning. Among the eight analysed outcrops. The three most representative profiles were selected in order to provide thorough descriptions of physical, mineralogical, geologic, structural and geotechnical parameters, focusing on different classes of weathering, which include both rock matrix and rock mass. The results show a tiny soil layer on top of the sandstones weathering profiles with sharp boundaries between material layers. The weathering is strongly influenced by geological structures such as stress relief joints parallel to the bedding, which plays an important role in both rock layers' differentiation and weathering classes. Lastly, strength parameters have demonstrated to be useful for distinction among weathered materials, especially when related to rock matrix studies.

KEYWORDS:

Non-formal space; weathering profile; sandstone; morphology; geomechanics.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento geológico tem sido utilizado fundamentalmente pela sociedade ao longo da história de maneira a prover as necessidades básicas em termos de recursos minerais (pesquisa mineral), exploração de materiais energéticos (combustíveis fósseis), na construção de obras civis (habitação, barragens, rodovias, túneis). Tal conhecimento identifica, de maneira mais segura, as aptidões e restrições de uso dos recursos naturais abióticos, bem como os impactos advindos de seu manejo inadequado (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010).

O intemperismo afeta consideravelmente as rochas, provocando modificações no comportamento mecânico dos materiais rochosos. A velocidade da ação dos processos intempéricos está ligada principalmente ao clima da região, ao relevo, ao tempo de exposição e à rocha de origem. O caminho percorrido pela água para entrar no maciço está ligado ao grau de faturamento e à porosidade, causando a



aceleração do processo de alteração. Tem-se, assim, um importante e complexo mecanismo de instabilização de maciços rochosos, que tem, comumente, sido responsável por uma série de problemas geotécnicos (MARQUES; WILLIAMS, 2015).

Como o processo de alteração, resultante dos processos de intemperismo, afeta os parâmetros geotécnicos da rocha, torna-se importante estudar de forma detalhada a caracterização da morfologia dos perfis de intemperismo a fim de identificar os diferentes materiais, caracterizar o comportamento geomecânico de materiais intemperizados transitórios entre rocha e solo de maneira a prover dados sobre características físicas, químicas, mineralógicas e mecânicas (resistência e deformabilidade). Esses dados podem, então, ser utilizados como base para melhorar projetos geotécnicos, investigações de campo e execução de obras civis e de mineração. Logo, o presente trabalho tem como principal objetivo estudar, com estudantes de graduação e de pós-graduação, a morfologia dos perfis de intemperismo e a variação de resistência de alguns arenitos presentes na região do Triângulo Mineiro (MG). Esta é uma ferramenta importante no processo de ensino e aprendizagem, levando a sala de aula ao campo a partir de atividades desenvolvidas ao longo de temáticas geradoras de conhecimento. Esses objetivos estão relacionados aos seguintes aspectos primários:

- Caracterização morfológica dos perfis de intemperismo de rochas sedimentares (arenitos) existentes na região do Triângulo Mineiro, em condições de clima tropical úmido.
- Caracterização geotécnica e geológica detalhada dos materiais resultantes do intemperismo para fins de engenharia geotécnica;
- Execução de testes de campo e laboratoriais, avaliações e análises;



O objetivo final propõe uma metodologia de caracterização de perfis de intemperismo para as rochas estudadas, que seja econômica e tecnicamente aplicável. O estudo concentrou em materiais de rocha em vez de materiais de solo. Este artigo foca exclusivamente em aspectos morfológicos e caracterização e teste *in situ*.

A caracterização do estado de alteração da rocha realiza-se de maneira qualitativa e/ou quantitativa. Existem várias maneiras de classificação do intemperismo numa rocha, tais como [Anonymous (1995), Beavis (1985), IAEG (1981), ISRM (2007)]. Sendo este último um dos mais utilizados. A caracterização qualitativa consiste de uma avaliação visual da alteração dos minerais através de mudanças na cor, brilho e textura, como mostrado na Tabela 1 e que é adotado no presente estudo.

Tabela 1: Graus de decomposição (modificado de ISRM, 2007 e ABGE, 1983)

Grau	Termo	Descrição
W1/D1	Rocha Sã	Alteração mineralógica nula a incipiente. Minerais preservam brilho original, cor e clivagem. Eventual descoloração nas descontinuidades. Foliação visível e selada.
W2/D2	Rocha Pouco Decomposta	Alteração mineralógica perceptível, cores esmaecidas e perda do brilho. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Foliação visível e selada. Juntas fechadas, paredes ligeiramente alteradas. Resistência original da rocha muito pouco afetada pela alteração
W3/D3	Rocha Moderadamente Decomposta	A matriz apresenta-se descolorida, com evidência de oxidado. Juntas abertas (<1,0 mm) e oxidadas, podendo ocorrer material mais alterado ao longo das descontinuidades. Foliação realçada pelo intemperismo. Resistência afetada pelo intemperismo e lixiviação



W4/D4	Rocha Muito Decomposta	Alteração mineralógica muito acentuada, alguns minerais parcialmente decompostos em argilominerais. Matriz totalmente oxidada e cores muito modificadas. Fraturas abertas (2 < e < 5 mm) e oxidadas, preenchidas por materiais alterados. Foliação realçada pelo intemperismo. Deslocamentos ao longo da foliação. Resistência muito afetada pela alteração e lixiviação
W5	Rocha Completamente Decomposta	Todo material está completamente decomposto/alterado para solo estruturado. Extremamente descolorido, minerais resistentes quebrados e outros transformados em argilominerais. Foliação preservada. Juntas não discerníveis. Desintegra em água após um período de imersão.
W6	Solo Residual	Material totalmente transformado em solo. Estruturação da rocha matriz destruída. Prontamente desintegrado em água.

A Tabela 2 lista, separadamente, todas as características, descrições e parâmetros avaliados para cada perfil de intemperismo, para a massa rochosa e a matriz de rochas. Os resultados de caracterização de campo e teste de parâmetros físicos foram baseados em amostras de todos os cinco perfis de intemperismo. Uma descrição mais detalhada de todos os métodos pode ser encontrada em Marques (2015). Os testes de martelo de Schmidt foram realizados de acordo com ISRM (2007). Mineralogia foi identificada com base na visualização através de uma lupa de bolso.

Tabela 2- Cadastro de testes da matriz aplicado para identificação das camadas intemperizadas (BARROSO, 1993).

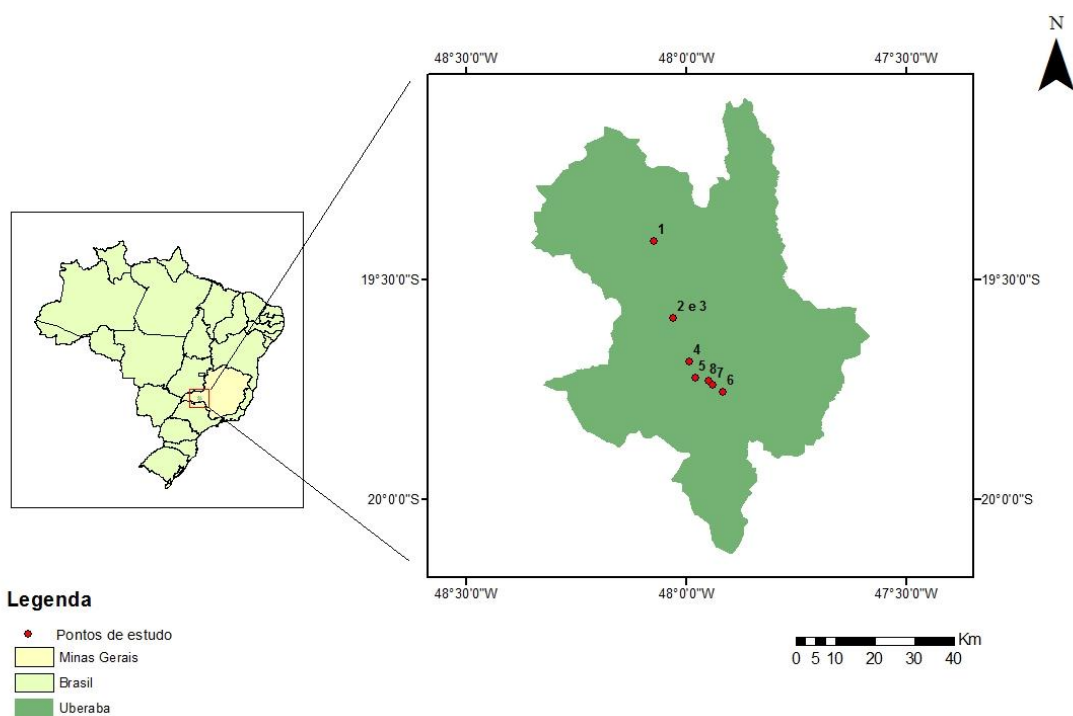
Tipo de Observação	Parâmetros
Reconhecimento visual e geológico	✓ Mineralogia/tamanho dos Grãos;
	✓ Fabric;
	✓ Grau de descoloração;
	✓ Alteração dos minerais;
	✓ Presença de estrutura original na matriz rochosa.
Testes de reconhecimento mecânico	✓ Resistência aos golpes do martelo de geólogo;
	✓ Escavação manual;
	✓ Risco pela unha ou canivete;
	✓ Facilidade de arranchamento de grãos;
	✓ Desagregação em água.



1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está inserida na mesorregião geográfica do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e localiza-se a oeste do Estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil (Figura 1 e Tabela 3). Foram visitados e descritos oito perfis de intemperismo, sendo três (P06, P07 e P08) localizados na cidade de Uberaba e outros dois (P04 e P05) localizam-se na BR-050 entre as cidades de Uberaba e Uberlândia pertencentes à Formação Uberaba. Os outros dois (P01, P02/P03) pertencem à Formação Marília, e também se localizam na BR-050 entre as cidades de Uberaba e Uberlândia.

Figura 1 – Área de abrangência da área de estudo.



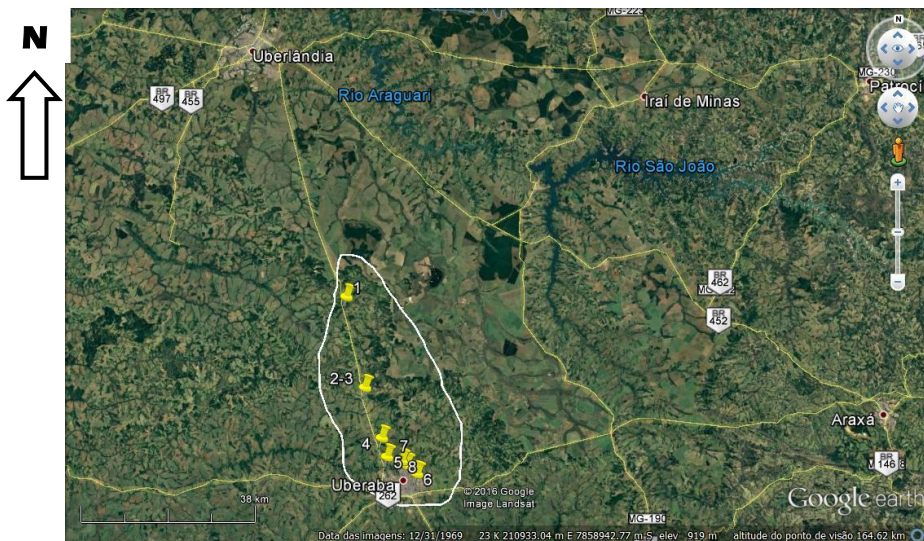


Tabela 3- Endereço e coordenadas geográficas dos perfis de intemperismo de arenito descritos e amostrados.

Arenitos	Localização	Coordenadas UTM (Zona: 23 k, Datum SAD69)	
		N	E
P01	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, do tipo corte de estrada.	7851063	0807394
P02 / P03	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, com orientação N-S, do tipo corte de estrada.	7831418	0811628
P04	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, do tipo corte de estrada.	7820514	0188629
P05	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia	7816472	0187620
P06	Afloramento localizado em um talude dentro da cidade de Uberaba, atrás de um posto de gasolina	7813061	0194319
P07	Afloramento localizado ao lado esquerdo da rua em frente ao Estádio do Uberabão	7814825	0191944
P08	Afloramento localizado a caminho da Universidade	7815688	0190831

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, com procedimentos de uma pesquisa de campo para cuja construção foi dividida em duas etapas. Uma revisão bibliográfica inicial foi realizada, sobre os temas relativos à geologia da região e possíveis pontos



de afloramento de perfis para levantamento em campo além de métodos utilizados nos ensaios, análises e testes propostos realizados na pesquisa.

Em seguida, foi feita uma intervenção de campo inicial visando à identificação, avaliação e seleção e treinamento de taludes de corte para descrição da morfologia dos perfis de intemperismo observados na área de estudo e considerados, com base nesse levantamento de campo, representativos dos perfis existentes na região. Foram visitados 8 (oito) perfis de intemperismo. Foram feitas descrições detalhadas destes perfis para desenvolver uma compreensão de sua morfologia típica. Dentre os 8 (oito), 3 (três) perfis de intemperismo (P06, P07 e P08) considerados como os mais representativos de cada tipo de rocha foram selecionados para estudo detalhado.

Após essa visita inicial, montavam-se vistas geral e de detalhe de cada perfil que eram posteriormente impressas. Sobre estas montagens era feita a interpretação da morfologia dos perfis considerando-se os diferentes materiais (camadas) resultantes do intemperismo identificados e as estruturas presentes, levantados em campo. Essa interpretação foi, então, levada a campo em uma segunda visita e revisada *in situ*.

Em uma segunda visita de campo realizou-se a identificação dos materiais existentes. Nessa etapa, foram coletados todos os dados relacionados às discontinuidades identificadas. Em determinados locais, uma terceira visita foi necessária para coletar dados adicionais.

Em cada um dos perfis selecionados para a execução do estudo detalhado para o arenito realizou-se, durante a primeira e segunda visita, o levantamento



detalhado da morfologia dos perfis de intemperismo típicos observados na área de estudo, com especial ênfase nos seguintes aspectos:

- Identificação do perfil, através de nome, endereço e coordenadas geográficas (retiradas com GPS de mão);
- Descrição litológica macroscópica da rocha, com base em análise tátil-visual e com auxílio de uma lupa de bolso;
- Identificação das camadas com diferentes graus de intemperismo, existentes ao longo do perfil, de acordo com a classificação da ISRM (2007, Tabela 1) e com o cadastro de testes da matriz, mostrado na Tabela 2 (BARROSO, 1993); para isso é necessário fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa.
- Identificação das principais estruturas geológicas e discontinuidades existentes; características de discontinuidade (o índice de espaçamento de fraturas medido em m , a persistência, a abertura e o JRC de acordo com os métodos de Barton [1973 e 1976] E Barton & Choubey [1977]),
- Razão solo-rocha;
- JV (índice volumétrico conjunto) como definido por Palmstrom (2005).
- o JCS (baseado em testes de martelo de Schmidt tipo L) de material de matriz de rocha;
- Descrição das características texturais (*fabric*, cor etc.) e espessuras de cada camada;
- Fotografias.

Todos os resultados obtidos foram então analisados, agrupados para cada classe de intemperismo (de acordo com a classificação apresentada na **Error!**



Reference source not found.), comparados com dados da literatura (quando disponíveis) e discutidos de maneira a se permitir a identificação de:

- Principais processos envolvidos no intemperismo das rochas existentes na área de estudo;
- Morfologia do(s) perfil(is) de intemperismo observado(s) na área de estudo;
- Tentativas de correlação entre propriedades analisadas, em especial físicas e mecânicas;
- Principais características mineralógicas e físicas dos materiais existentes no(s) perfil(is) de intemperismo observado(s) na área de estudo, com ênfase na sua variação como resposta ao desenvolvimento do intemperismo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item apresentam-se os principais resultados obtidos na pesquisa realizada, para a rocha estudada.

3.1. MORFOLOGIA DOS PERFIS DE INTEMPERISMO DOS ARENITOS UBERABA E MARÍLIA

A observação e descrição detalhada dos perfis de intemperismo em arenito permitiu obter um conhecimento consistente sobre a sua morfologia e desenvolvimento que, caracterizam-se pela presença de uma camada pouco espessa de cobertura de solos. A observação de alguns perfis mostrou que o solo da região apresenta comportamento predominante de pequena espessura. Esse fato, aliado ao objetivo da pesquisa, que foi o de avaliar os efeitos da ação do intemperismo sobre o maciço rochoso, levou à seleção dos perfis com menor cobertura de solo e de mais fácil acesso.



Os perfis estudados têm suas características apresentadas na Tabela 4. Nesses perfis foi possível observar materiais das classes I, II, III, IV e V (solo residual), bem como zonas de transição entre essas classes, em especial entre II/III. O perfil P08 é o mais completo, com presença de materiais desde rocha pouco intemperizada até altamente intemperizada.

Da Figura 2 à Figura 7 apresentam-se os perfis de intemperismo em arenito, podendo-se observar as suas principais características morfológicas:

- O contato, abrupto, entre os materiais de diferentes classes de intemperismo;
- A reduzida espessura de solo na porção superior do perfil; e
- O controle das juntas de alívio localizadas de forma subhorizontal (paralela ao acamamento), sobre os contatos entre os materiais de classe de intemperismo diferente.

Figura 2 - Vista frontal do Perfil P06 da Formação Uberaba. Em amarelo está o contato abrupto marcado por uma descontinuidade entre o Arenito Inferior e o superior do perfil. Neste contato dá-se a surgência de água que ocorre no local.



Figura 3 - Vista frontal do perfil P02-03, pertencente à Formação Marília. Em vermelho mostra-se uma fina camada de solo, representativo da região

Figura 4- Vista frontal do Perfil P04, pertencente à Formação Uberaba. Em vermelho contato abrupto entre os arenitos.



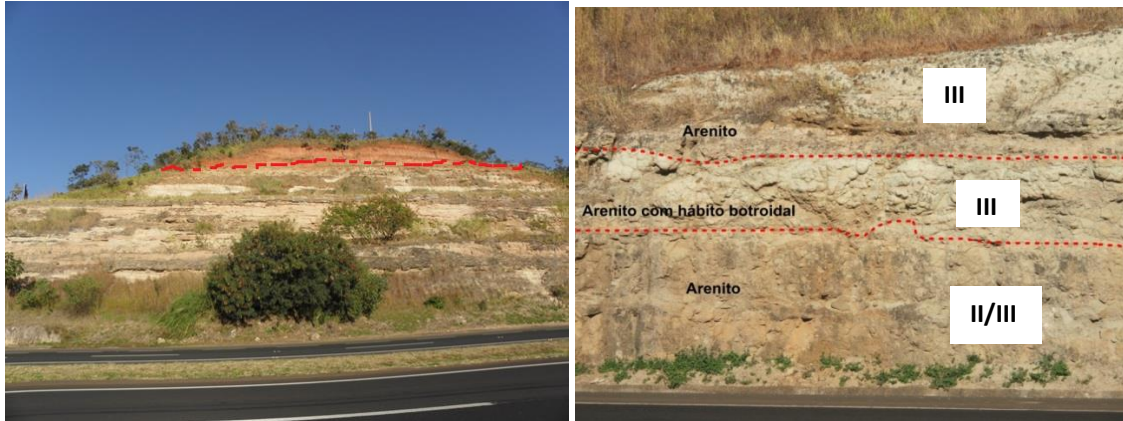


Figura 5 - Vista dos perfis do ponto P07, pertencente à Formação Uberaba. Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito com granocrescência ascendente. Nota-se o aumento da frequência de descontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo. Percebe-se também no local das descontinuidades a surgência de água destacado de azul.

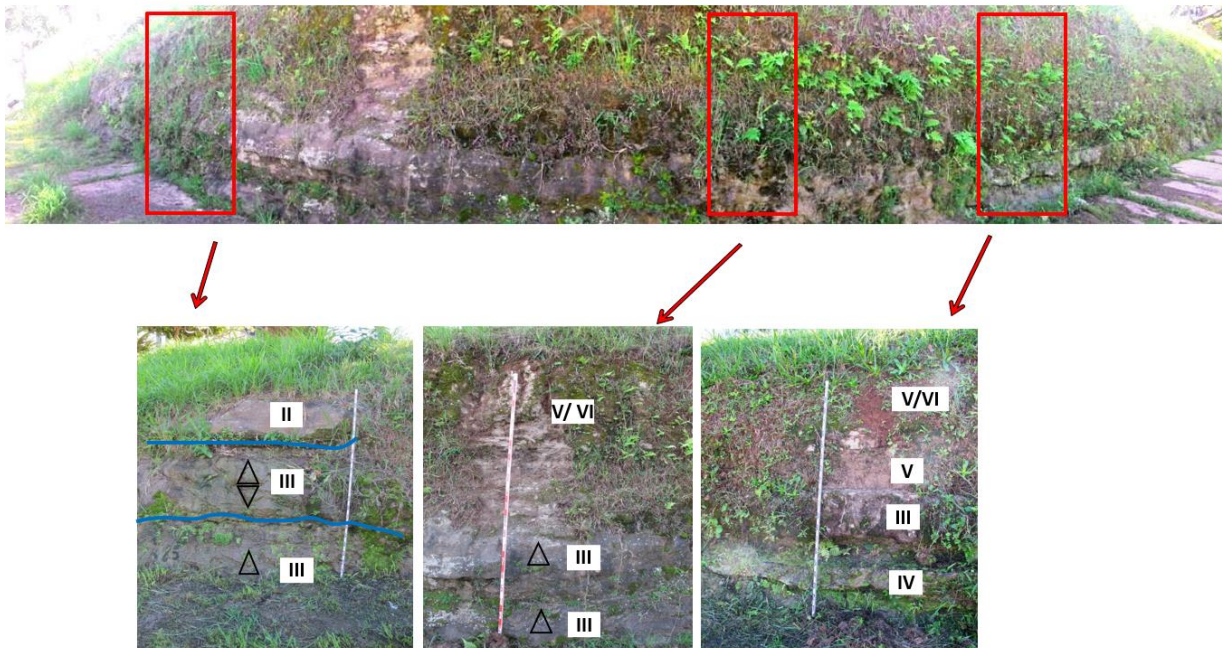
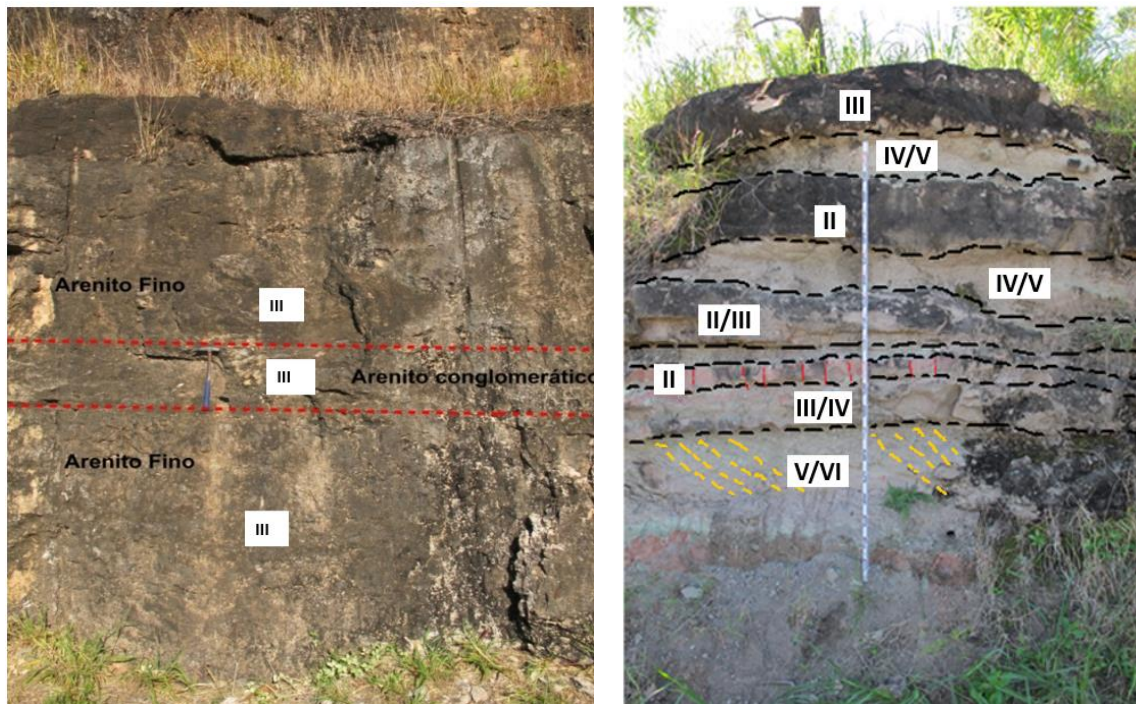


Figura 6 - Vista frontal do Perfil P01. Em vermelho, contato abrupto entre as rochas da Formação Marília.

Figura 7 - Exemplo de morfologia dos perfis em arenito, representado pelo Perfil P08 da Formação Uberaba). Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito. Nota-se o aumento da frequência de descontinuidades devido ao alívio,

causando aumento do intemperismo, essas
descontinuidades são sub-horizontais ao
acamamento. Em vermelho tem-se as fraturas
tectônicas verticais e em amarelo
estratificação cruzada.



Ressalta-se que o ponto P07 é bastante distinto do comportamento observado nos outros perfis, já que esse é único no qual os contatos são por vezes gradacionais entre as classes de intemperismo diferentes, desenvolvendo uma granocrescência ascendente no perfil. Além disso, o controle estrutural é marcado pelo aumento da frequência de descontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo.

Nos demais perfis, os contatos entre diferentes classes de intemperismo dentro do maciço rochoso são abruptos e apresentam controle estrutural, dado



principalmente pelas juntas de alívio e, de forma secundária, pelas fraturas, essas últimas sendo observadas no perfil P06 e P08. O acamamento sedimentar apresenta mergulhos baixos, variando entre 00° e um máximo 10°. Em função desses baixos valores de mergulho, o alívio de pressão resultante da erosão e do soerguimento tectônico que atua sobre esses arenitos resulta em um aumento da intensidade do faturamento paralelo ao acamamento, bem como também na abertura dessas discontinuidades, com a surgência de água nesses locais, como mostrado nos pontos P07 e P06 (Figura 5 e 2).

3.2. MINERALOGIA MACROSCÓPICA E FÁBRICA

De acordo com o que foi observado em campo constatou-se que as rochas da Formação Uberaba representadas pelos perfis P04, P05, P06, P07 e P08 são constituídas por arenitos e, subordinadamente, intercaladas por lamitos, siltitos, e conglomerados, derivados do retrabalhamento de rochas vulcânicas pré-existentes associadas a sedimentos de outras fontes não vulcânicas. Em alguns pontos, os estratos arenosos encontram-se amalgamados. As estruturas sedimentares presentes são estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela e feições acanaladas. Em termos texturais, os arenitos dessa formação apresentam seleção moderada, com granulometria variando de fina a grossa, sendo frequentes intraclastos de argila, fragmentos de rochas e nódulos carbonáticos, com tamanhos milimétricos a centimétricos, com teor de matriz variável. Os arenitos ainda apresentam coloração esverdeada e avermelhada. Essa coloração, possivelmente, é resultante da concentração de materiais vulcânicos alcalinos e a cor avermelhada deriva da oxidação do ferro.



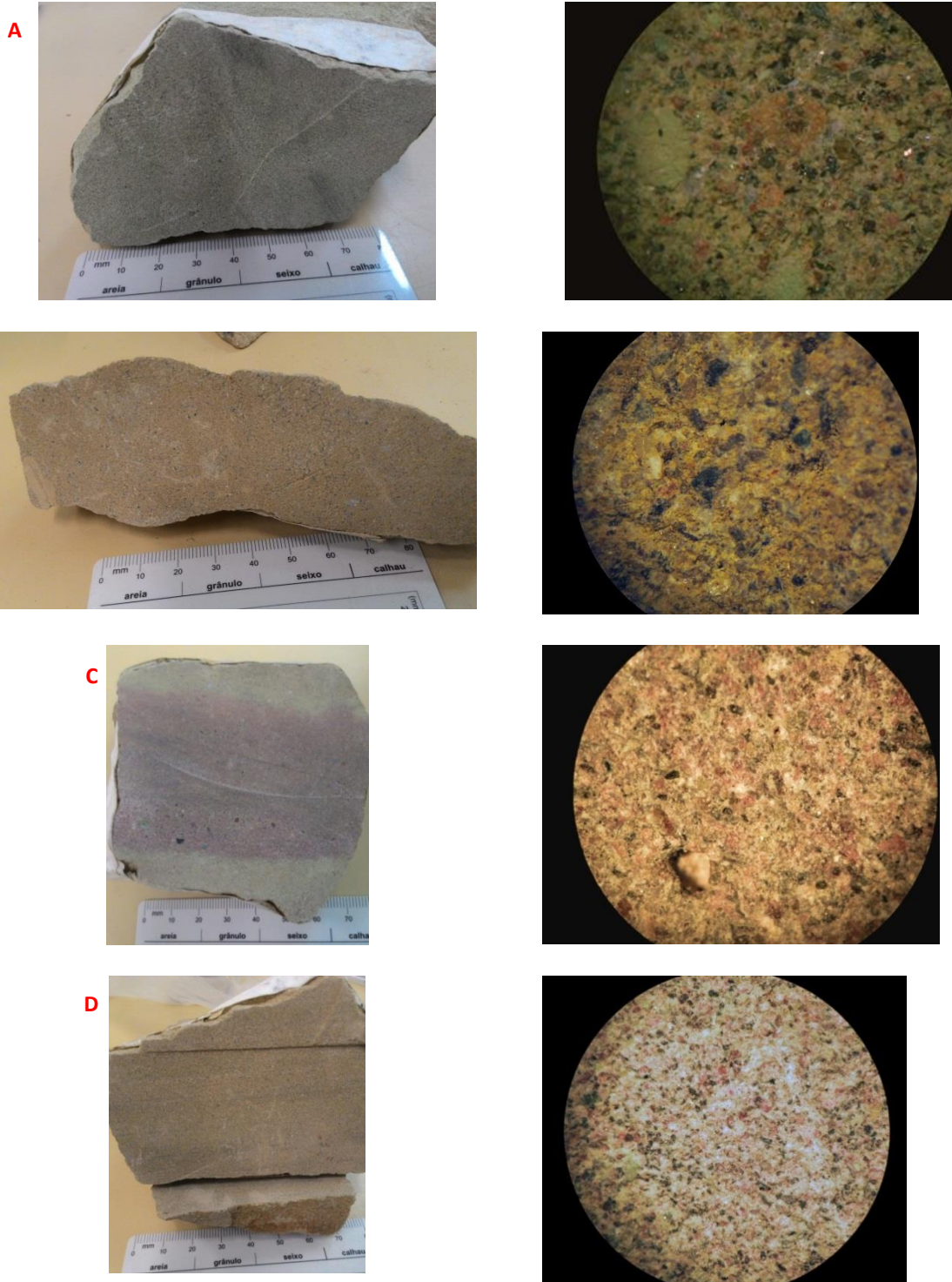
Composicionalmente, o arenito apresenta fragmentos líticos e grãos máficos (provável contribuição das rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e alcalinas), os argilominerais que ocorrem como revestimento dos espaços intergranulares, quartzo e, em alguns pontos, feldspatos (plagioclásio). É comum também a presença de níveis cimentados por carbonato de cálcio.

Também com base no que foi observado em campo constatou-se que os arenitos da Formação Marília, representados pelos perfis P01 e P02/P03 são constituídos por sedimentos detríticos finos a grossos, com presença de nódulos e de cimentação carbonática. É composta por conglomerados, com clastos milimétricos a centimétricos, com grãos angulosos e teor de matriz variável de coloração branca amarelada, com estrutura maciça ou em acamamento incipiente, subparalelo. Apresentam grãos subangulosos a subarredondados e mal selecionados. Os arenitos grossos a conglomeráticos ocorrem na forma de estratos com estratificações cruzadas acanaladas e tabulares e plano-paralelas. Em alguns locais, aparecem níveis de argilito marrom-avermelhados, às vezes com clastos espalhados, imersos na matriz. Composicionalmente essa formação apresenta intraclastos e nódulos de argila, carbonato, fragmentos de rocha ígnea e de arenito recristalizado e quartzo. A matriz é de areia fina composta por quartzo, granada, fragmentos líticos, feldspato, máficos e cimento carbonático.

Na Tabela 4 apresentam-se as características macroscópicas principais (mineralógicas, estruturais e de *fabric*) de todas as classes de intemperismo observadas para os arenitos, enquanto na Figura 8 apresenta-se fotos tiradas em Microscópio Estereoscópio Lupa com Aumento de até 80X representando cada uma das classes.



Figura 8- Exemplo de arenitos de diferentes classes de intemperismo (WC). As fotos à esquerda mostram diversos espécimes de mãos e suas amostras representativas tiradas com um fator de aumento de 80x sob lupa: a) WC I (SR); b) WC II (SW); c) WC II (SR); d) WC II / III (SW a MW); e) WC III (MW); f) WC III / IV (MW a HW); g) WC IV (HW).



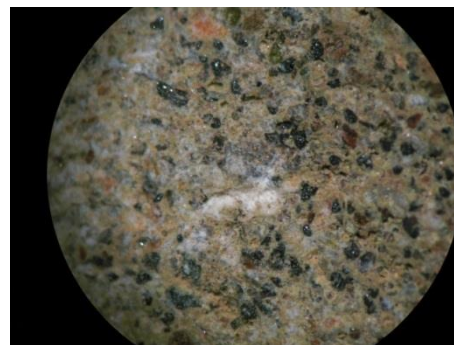
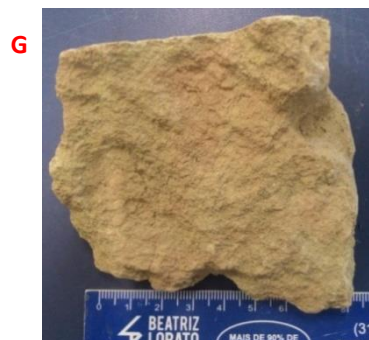
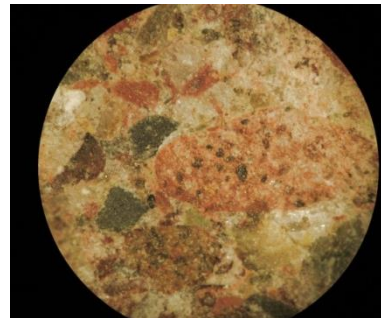
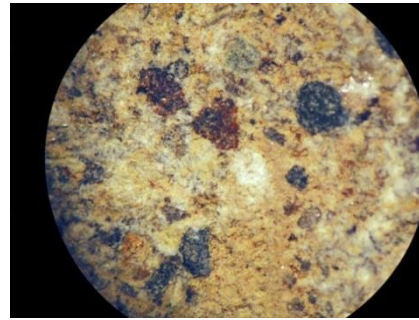


Tabela 4 – Características macroscópicas principais dos arenitos da Formação Uberaba, observadas nos perfis descritos.

Classes de Intemperismo	Descrição
I (SR)	<p>A rocha é um arenito duro (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), com pouco ou nenhum sinal de alteração da matriz, de coloração esverdeada e estrutura maciça, textura equigranular. Sinais de óxido de ferro podem ser observados na matriz e uma alta porcentagem de poros. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por quartzo, carbonato, argila, feldspato e minerais máficos. Sua granulometria varia de fina a média e os grãos são subarredondados a arredondados. Frequentemente são observados seixos espalhados em meio ao arenito, ao longo do afloramento. Em determinadas camadas há maior concentração de seixos de tamanhos variados. A principal estrutura observada é uma fratura atectônica, paralela ao acamamento, que corta todo o afloramento e apresenta surgência de água. Além de fraturas tectônicas (três famílias) sendo duas subverticais e uma sub-horizontal. As fraturas apresentam-se visíveis, seladas a mm abertas. Essa Classe ocorre somente no Perfil P06. O contato entre as camadas é brusco e controlado pelo acamamento.</p>
II a (SW)	<p>A rocha é um arenito duro (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), mas apresenta áreas um pouco mais brandas do que a rocha sã. Esta Classe ocorre em dois perfis (P07 E P08) e apresentam-se bem distintos um do outro. No perfil P07 este arenito ocorre apenas em alguns metros do afloramento. Apresenta granulometria predominantemente fina e os grãos sub angulares a sub arredondada. Textura equigranular e estrutura maciça, de coloração cinza/esverdeada. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por argila, quartzo, carbonato, fragmentos de rochas, feldspato e minerais máficos e sinais de óxido de ferro podem ser observados na matriz. O grau de fraturamento do maciço aumenta em relação a Classe I, sendo concordante com o acamamento sedimentar e ocorre surgência logo abaixo deste arenito. Solo residual ocorre ao longo das descontinuidades formadas pelo acamamento sedimentar. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento.</p> <p>Já no perfil P08 a Classe II apresenta-se com coloração predominantemente avermelhada resultante do intemperismo com a formação do óxido de ferro e apresenta algumas porções/manchas esverdeadas. Possui granulometria fina a média e com alguns níveis com granulação grossa. Sua composição macroscópica se dá por grãos mais grosseiros de quartzo, fragmentos de outras rochas (pequenos seixos) e nódulos de argila. A granulometria fina é composta por uma matriz argilosa com sinais de alteração, carbonato, minerais máficos e feldspatos alterados transformando-se em argilominerais. O cimento de óxido de ferro também pode ser observado contornando os grãos. Quanto ao arredondamento dos grãos os mesmos apresentam-se sub arredondados a angulares. A textura dessa rocha é principalmente equigranular, levemente estratificada e com estrutura principal. As descontinuidades observadas neste litotipo se desenvolvem ao longo do acamamento (subhorizontal) e em maior quantidade que no ponto P07. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento. Algumas manchas vermelhas resultantes da precipitação de óxido de ferro ocorrem. Apresentam pequenas fraturas tectônicas verticais, sendo todas elas seladas.</p>
II/III (SW a MW)	<p>A rocha é um arenito resistente (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), mas apresenta áreas levemente a moderadamente intemperizada. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Apresenta-se no perfil P08 com coloração predominantemente verde tendendo para vermelha. Sua granulometria varia de fina a média. Sua composição macroscópica se dá por grãos de quartzo, fragmentos de outras rochas, matriz argilosa com sinais de alteração, carbonato, minerais máficos e feldspatos alterados. O cimento de óxido de ferro pode ser observado contornando os grãos, mas em menor quantidade que encontrado na Classe II. Os grãos apresentam-se sub arredondados a angulares com textura principalmente equigranular, a estrutura encontra-se levemente estratificada. As descontinuidades observadas se desenvolvem ao longo do acamamento (subhorizontal) e em maior quantidade que no ponto P07. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento. A maior mudança perceptível na mineralogia do III para o II é o aumento da porcentagem de</p>

	argila.
III (MW)	Esta Classe é vista somente no Perfil P07, em que a matriz rochosa encontra-se moderadamente alterada e mais friável que na classe II/III; alguns golpes de martelo de geólogo são suficientes para quebrá-la. A única mudança na mineralogia do III para o II do perfil P07 é o aumento do teor do carbonato, sinais de óxido de ferro e um aumento do teor de silte/argila na matriz. O contato com a camada anterior é brusco e controlado pelo acamamento, já o contato com as camadas sobrejacentes são gradacionais. Possui coloração cinza esverdeada, granulometria fina a média inferior, textura equigranular, os grãos são predominantemente subangulosos a angulosos. As principais estruturas observadas são o acamamento sedimentar (subhorizontal) e a estratificação.
III/IV (MW a HW)	Encontra-se apenas na base do perfil P08. Apresenta matriz rochosa composta por material entre moderadamente e altamente intemperizado. As principais características macroscópicas que distinguem esse material para a material Classe III são: um maior intemperismo da matriz, dado principalmente pela presença de óxido de ferro e do aumento de carbonato, menor porcentagem de poros; e um maior intemperismo ao longo das discontinuidades. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por quartzo, carbonato, argila, fragmentos de rocha e minerais máficos. Sua granulometria varia de fina (matriz) a grossa (representada pelos clastos). Algumas manchas vermelhas resultantes da precipitação de óxido de ferro ocorrem. O grau de fraturamento do maciço aumenta. O acamamento sedimentar, subhorizontal (00° a 10°), controla os contatos com a camada IV, sobrejacente e com conseqüente aumento da relação solo- rocha. Solo residual ocorre ao longo das discontinuidades formadas pelo acamamento sedimentar.
IV (HW)	Ocorre apenas no perfil P07 e apresenta material predominantemente altamente intemperizado, mas rocha medianamente intemperizada pode estar presente, em especial ao longo das discontinuidades principais. É possível quebrar a rocha com poucos golpes do martelo, e arrancar porções e desagregá-los sob a pressão dos dedos, com alguma dificuldade. A alteração mineralógica muito acentuada, se dá por alguns minerais parcialmente decompostos em argilominerais. Matriz encontra-se oxidada e as cores modificadas. O acamamento é sub-horizontal (0 a 10°) e controla contatos com camadas sub e sobrejacentes. As principais características macroscópicas que distinguem esse material para a material Classe III são: um maior intemperismo da matriz, dado principalmente pelo aumento de carbonato, menor porcentagem de poros, e um maior intemperismo ao longo das discontinuidades. Há surgência de água acima no contato com a camada superior, o que provavelmente contribuiu para a maior alteração e lixiviação de alguns minerais.

3.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DETERMINADOS IN SITU

Conforme apresentado anteriormente, uma série de parâmetros geotécnicos foram determinados durante os trabalhos de campo:

- Razão solo-rocha;
- Espaçamento de fraturas (índice de espaçamento de fraturas);
- Persistência das descontinuidades principais;
- Abertura das descontinuidades principais;
- Índice de Rugosidade de Juntas (JRC), conforme definido por Barton (1973, 1976);
- J_v , de acordo com a sugestão de Palmstrom (2005).

Na Tabela 5 abaixo apresenta-se um resumo dos resultados obtidos para cada camada observada no perfil, quando disponível.

Com base nos dados apresentados na Tabela 5 alguns dos parâmetros apresentam variações aleatórias, portanto não se correlacionam bem com os agentes atmosféricos logo, eles não podem ser utilizados para identificar e diferenciar os efeitos do intemperismo na matriz de rocha e em maciços. Por outro lado, o parâmetro razão solo:rocha, apresentou boa resposta em relação à classificação do intemperismo, expressa pelas classes de intemperismo.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios/análise *in situ* para cada classe de intemperismo.

Amostras	Grau de Alteração	Razão Solo:Rocha (%)	JV	Espaçamento (m)	Fratura		
					JRC	Abert ^a (cm)	Pers ^b (m)



P06 1	I	15-20	1	1,2	Fr 10-12	0,1-0,2	15	Ausente
P06 2	I	15-20		1,1	Ac 14-16	Selada/0,1	17	Matéria Orgânica
				0,9	Fr 8-10	0,1-0,2	8	Ausente
P07 1	II	25-30	3-4	1,00	Ac 10-12	1,0- 1,5	50	Matéria orgânica
P07 2	III	40		0,40	Ac 8-10	Selada	50	Ausente
P07 3	III	45		0,29	Ac 14-16	27	50	Matéria orgânica e solo residual
P07 4	IV	50-55		0,37	Ac12-14	0,5	50	Matéria orgânica
P08 1	II	40	4 -6	0,32	Ac 14-16	Selada/0,1	65	Ausente
P08 2	II	35-40		0,30	Ac 10-12	Selada/0,1	65	Ausente
P08 3	II/III	40		0,23	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65	Ausente
P08 4	II	55-60		0,12	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65	Ausente
P08 5	III/IV	70		0,20	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65	Ausente

^a Abert = Abertura média; ^b Pers = Persistência média; ^c Preen = Material de preenchimento; Fr = Fratura, Ac= Acamamento.

Alguns destes resultados foram comparados com os apresentados por Marques (2015). Assim como os arenitos analisados por Marques & Williams (2015), os parâmetros Jv, JRC, persistência e material de preenchimento, não apresentaram comportamento capaz de permitir a individualização de materiais de classes diferentes.

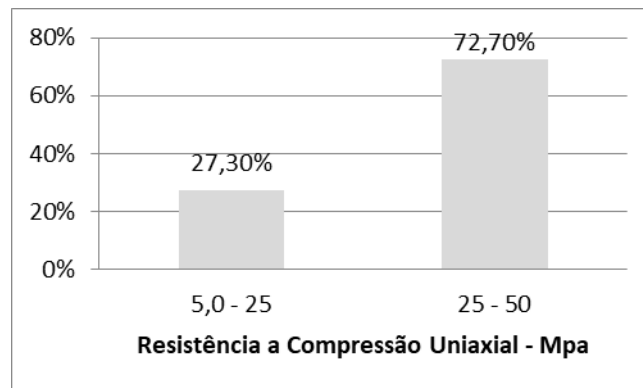
4.3.1 Ensaios de Resistência – Ensaio in situ com Martelo de Schmidt

Em relação ao parâmetro JCS foi possível diferenciar a matriz rochosa entre as classes de intemperismo. Constatou-se (Figura 9) que o arenito e os produtos de seu intemperismo podem ser classificados como do tipo R2 (resistência baixa) em sua maioria (aproximadamente 73%) ou do tipo R3 (resistência mediana), segundo



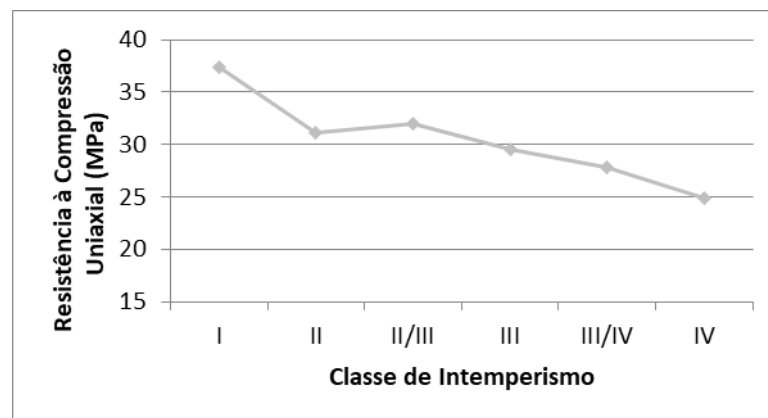
a classificação da ISRM (2007), e a razão solo/rocha aumenta de forma inversamente proporcional ao intemperismo.

Figura 9 – Classes de resistência a compressão uniaxial para os três arenitos, com base nos resultados do Esclerômetro de Schmidt.



A Figura 10 apresenta um gráfico que mostra a dureza dos arenitos de acordo com o avanço no grau de alteração dessas rochas.

Figura 10: Valores de resistência a compressão uniaxial para as classes de intemperismo, obtidos a partir dos resultados do esclerômetro de Schmidt.



Como apresentado acima, existe uma relação de proporcionalidade intrínseca entre a dureza da rocha e o aumento do grau de intemperismo. O comportamento do gráfico em geral, mostra essa relação.

Já o arenito do perfil P08 C2 apresentou o material da Classe II com valores um pouco menores em relação à dureza da rocha, em comparação com os materiais da Classe II/III, considerando os testes realizados. Essa característica dá-se a partir do avanço do grau de alteração na rocha, os cimentos, carbonático e ferruginoso, precipitam e ocupam os poros da rocha, diminuindo a porosidade e aumentando a dureza da rocha.

4.4 Ensino de Geociências

O papel da educação científica, sobretudo das Ciências da Terra, configura-se como instrumento fundamental para uma educação para a sustentabilidade. Isso significa a relevância de sugerir profundas reorientações nos sistemas educativos, desafiando os educadores a desenvolverem abordagens inovadoras, que consigam partir do conhecimento substantivo de Geociências para dotar o cidadão de saberes e valores para uma vida sustentável. Conhecer a ação do intemperismo sobre as rochas sedimentares significa muito mais que um processo geológico, alcançando a leitura da dinâmica da formação dos solos e da economia. Desenvolver aulas de campo com foco nos debates socioambientais para levar ao centro do debate a forma sustentável de utilização das riquezas minerais sem desperdiçar recursos não renováveis e sem perturbar a dinâmica do planeta ganha tônica no contexto atual.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o conjunto de resultados produzidos neste artigo pretende-se aproximar a sociedade com o meio físico, mais especificamente da Geologia. Do ponto de vista do processo ensino-aprendizagem, os resultados demonstram avanços na alfabetização científica do grupo de alunos participantes e na leitura do ambiente, a partir da compreensão da mensagem que a Terra, enquanto sistema completo, pode apresentar. Este trabalho pretende colaborar para o treinamento de estudantes de Geologia, colocando à disposição dos interessados as análises e resultados.

Através de observações, apreciação e comparação dos resultados dos estudos morfológicos, mineralógico e testes mecânicos produziram-se informações importantes sobre os efeitos do intemperismo no comportamento dos arenitos da Formação Uberaba. O método proposto para a caracterização das diferentes classes de intemperismo é considerado promissor, embora precise que mais rochas sejam utilizadas para melhorar os resultados. Através de observações, análise e comparação dos resultados dos estudos morfológicos, mineralógico e testes mecânicos produziram-se informações importantes sobre os efeitos do intemperismo no comportamento dos arenitos da Formação Uberaba. Os perfis de intemperismo exibem características morfológicas que permitem a identificação de diferentes materiais com classe de intemperismo diferentes.

Com base nos resultados, foram desenvolvidas as seguintes conclusões:

Os contatos entre as classes de intemperismo desempenham um papel importante na morfologia dos contatos entre os materiais de intemperismo, eles são principalmente abruptos, controlados pelo acamamento e juntas de alívios



paralelos ao acamamento e apresentam uma reduzida espessura de solo na porção superior do perfil.

Além disso, certos parâmetros de campo e características tais como a relação solo: rocha e JCS podem ser utilizados como índices de diferenciação da resistência.

Um dos efeitos mais importantes do intemperismo químico que atua nas rochas em estudo é o aumento do teor de minerais argilosos, cimento de óxido de ferro e cimento carbonático. Esses produtos são produzidos principalmente por intemperismo de feldspatos.

A variação da resistência pode estar relacionada à variação do material com os efeitos do aumento do intemperismo sobre a matriz rochosa dos arenitos,

Os estudos da morfologia e características in situ possuem grande relevância no escopo das Geociências, pois, a partir deles, é possível entender as condições gerais da dinâmica da paisagem contribuindo para o desenvolvimento de prognósticos e interpretações das condições paleoambientais.

Esses dados podem, então, ser utilizados como base para melhorar projetos geotécnicos, investigações de campo e execução de obras civis e de mineração. A compreensão do ambiente em que vivemos, determinando o seu significado dentro do ecossistema, leva à sua valorização e contribui para sua preservação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Viçosa (UFV) por oferecerem condições para a realização desta pesquisa.



REFERÊNCIAS

- ANONYMOUS. 1995. *The description and classification of weathered rock for engineering purposes*. Geol. Soc. Eng. Group Working Party Report: *Q. J. Eng. Geol.*, vol. 28(3), pp. 207–242.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). 1983. *Métodos para Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos*. São Paulo: ABGE. 132p. Tradução de “Suggested Methods for the Quantitative
- BARROSO, E. V. (1993). *Estudo das características geológicas e do comportamento geotécnico de um perfil de intemperismo em leptinito no Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Dep. Geologia, IGEO/UFRJ, RJ, 251 p.
- BARTON N. R., Choubey V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*, *Rock Mech*, 10(1-2): 1-54.
- BARTON, N. R. (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Eng. Geol.* 7, 287-332.
- BARTON, N. R. (1976). *The shear strength of rock and rock joints*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 13, 1-24.
- BEAVIS, F.C. 1985. *Rock weathering*. Engineering Geology. Blackwell Scientific, Melbourne.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT - IAEG (1981). *Rock and soil description and classification for engineering geological mapping*. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 24, 235–274.



INTERNATIONAL SOCIETY ON ROCK MECHANICS – ISRM (2007). In: Ulsay, R., Hudson, J. (Eds.), *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*. ISRM. 628 pp

MARQUES, E.A.G., 2015. *Morphological and mineralogical characterization of weathering profiles in Some Rocks from Southeast Queensland, Australia*. Technical Report. 106 p. (In Portuguese)

MARQUES, E.A.G, WILLIAMS, D.J. (2015). Weathering profiles of some sandstones from Sunshine Coast, Australia – *Morphological and geotechnical approach*. In: ARMA 2015 – 49th United States Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. Proceedings...American Rock Mechanics Association. San Francisco (USA). p. 1-8.

PALMSTROM, A. (2005). *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*. Tunnels and Underground Space Technology. 20, 362-377.

PFALTZGRAFF, P. A. S., TORRES, F. S. M. & Brandão, R. L. (2010). (Org.). Geodiversidade do estado do Piauí. Recife: CPRM, p. 115-136.

