

Rocha ornamental do estado de Minas Gerais: análise microestrutural de diferentes espécies da pedra ardósia

Pedro Pinheiro Duarte Neto^a , Maria Isabel Brasileiro^a , Laédna Souto Neiva^{a*} 

^aEngenharia de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri, Avenida Tenente Raimundo Rocha 1639, Cidade Universitária, 63048-080, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil

*e-mail: laedna.neiva@ufca.edu.br

Resumo:

As ardósias apresentam-se como uma das rochas mais utilizadas no mundo para fins ornamentais. Esse lugar de destaque é atribuído à sua ótima relação custo-benefício, considerando suas propriedades físico-mecânicas. Este trabalho estabeleceu como objetivo aplicar caracterizações mineralógicas, físicas e morfológicas em amostras de ardósia de diferentes variações cromáticas (cinza, verde, vermelha e ferrugem), provenientes do estado de Minas Gerais, a fim de detectar e catalogar possíveis diferenças relacionadas às potencialidades de aplicação deste material como rocha ornamental. Para isso, amostras foram coletadas em uma frente de lavra ativa, localizada na cidade de Papagaios, MG, e analisadas por técnicas de caracterizações microestruturais e teste de absorção de água. De acordo com os resultados obtidos a partir da análise por difração de raios X (DRX), foi detectada a presença das mesmas fases majoritárias para as quatro amostras analisadas: quartzo, muscovita, clorita e albita; além da calcita exclusivamente na amostra ferrugem, fato que pode acarretar menor resistência às intempéries à essa variante. Por meio da microscopia eletrônica de varredura, foi possível observar a heterogeneidade morfológica e granulométrica dos minerais constituintes assim como a disposição destes, formando o tecido/textura. A análise termogravimétrica verificou alterações estruturais sofridas, devido ao aquecimento, pelos constituintes mineralógicos detectados na DRX. Os resultados obtidos tendem a indicar que, apesar de serem provenientes da mesma frente de lavra, a coloração de cada espécie de ardósia pode exercer influência na microestrutura e, por consequência, nas propriedades físico-mecânicas; desta forma, influenciando na aplicação final deste material rochoso no segmento da construção civil.

Palavras-chave: rochas ornamentais; ardósia; caracterização microestrutural; Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO:

As ardósias são classificadas como rochas do tipo metamórficas que resultam de processos de fraco metamorfismo sobre sequências sedimentares argilosas e siltico-argilosas. Sua definição e caracterização baseiam-se na presença de superfícies preferenciais de delaminação, posicionadas paralelamente entre si e com faces notavelmente planas e lisas. Essa delaminação é o que se designa como clivagem ardosiana, formada pela orientação de minerais placóides e prismáticos, como muscovita e clorita. Além destes, as ardósias são constituídas majoritariamente por quartzo, feldspato e óxidos metálicos [1].

O setor de rochas ornamentais brasileiro apresenta-se em pleno crescimento nos últimos anos. Esse fator está relacionado à diversidade de propriedades apresentadas por cada tipo de rocha aliado à estética ímpar que esses materiais possuem. Os três principais tipos de rochas ornamentais mais comercializadas no Brasil são granitos, mármore e ardósias [2][3].

O Brasil ocupa lugar de destaque no cenário mundial de comércio de ardósias, tanto setor produtivo quanto consumidor e grande parcela desse posto é devido ao estado de Minas Gerais, que aparece como o maior produtor dessa rocha no território nacional. Na ótica mercadológica, os tipos de ardósia são diferenciados pela sua região de origem assim como sua variação cromática. Esses aspectos podem exercer influência direta na microestrutura de cada variante e, por consequência, nas propriedades físico-mecânicas [4].

Apesar da sua importância como rocha ornamental, a ardósia não tem sido alvo de um número proporcional de publicações científicas, em comparação com outros materiais como granito ou mármore, como relatam. Desse modo, a busca pela compreensão dos aspectos microestruturais, por parte de responsáveis técnicos, no ambiente acadêmico, produtores e consumidores finais, é de grande valia visto que esses fatores exercem influência direta no comportamento da rocha durante o seu uso [5].

As propriedades físicas das ardósias (clivagem preferencial, alta resistência mecânica, baixa porosidade, dureza média, além de ser constituída de minerais resistentes ao intemperismo) contribuem para a sua ampla utilização como rocha de revestimento na construção civil, como em coberturas e revestimentos de paredes e pisos, inclusive em países que adotam rígidos padrões técnicos e ambientais na lavra e beneficiamento [6].

Mediante todos estes aspectos e possibilidades de aplicação como rocha ornamental, o presente trabalho estabeleceu como objetivo realizar caracterizações mineralógicas, morfológicas e físicas sobre amostras de diferentes variações cromáticas da pedra ardósia oriundas do estado de Minas Gerais, Brasil, a fim de investigar, detectar e catalogar possíveis diferenças relacionadas às potencialidades de aplicação deste material rochoso no segmento da construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Materiais:

Quatro amostras da pedra ardósia, de diferentes variações cromáticas, foram utilizadas neste trabalho como material objeto de estudo. Todas as amostras foram coletadas diretamente de uma frente de lavra localizada no município de Papagaios, MG; o qual faz parte da Província de Ardósia de Minas Gerais. As amostras coletadas foram, então, classificadas em função de suas colorações da seguinte forma: cinza, verde, ferrugem e vermelha. Na Fig.1 estão apresentadas parte das amostras coletadas para compor o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

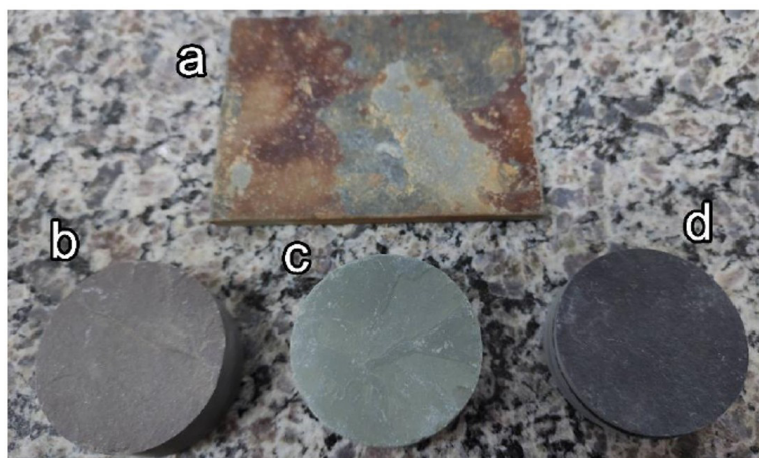


Figura 1. Amostras da pedra ardósia estudadas neste trabalho: (a) ferrugem; (b) vermelha; (c) verde; e (d) cinza; A amostra (a) mede 6,5 cm × 5,5 cm × 0,5 cm; as amostras cilíndricas (b), (c) e (d) medem 4,0 cm de diâmetro × 2,0 cm de altura

2.2. Caracterizações:

2.2.1. Caracterizações da Microestrutura:

Antes de submeter as quatro amostras de ardósia às caracterizações microestruturais, que serão descritas a seguir, todas elas foram submetidas a um processo de beneficiamento a fim de transformá-las em pó. Deste modo, as amostras foram primeiramente moídas, individualmente, em moinho do tipo martelo e, em seguida, o produto da moagem de cada amostra foi submetido a um processo de peneiramento manual em malha ABNT 200 mesh, abertura de 44 μm . Após a obtenção das amostras em forma de pó, estas foram submetidas às técnicas de caracterizações de difração de raios X, termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura.

As análises de difração de raios X foram realizadas sobre as amostras de ardósia visando identificar as fases que compõem as microestruturas destas, bem como avaliar o seu nível de pureza. Esta análise foi realizada em um difratômetro da marca Shimadzu, modelo XRD 7000, o qual é equipado com os seguintes parâmetros: alvo de cobre com $\lambda = 1,54 \mu\text{m}$; voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA; foi utilizado o intervalo de angulação (2θ) variando entre 0 e 60° com passo de 0,02°. $\cdot\text{s}^{-1}$. A identificação das fases foi realizada através do Software X'Pert HighScore Plus da Malvern Panalytical e o banco de dados ICDD (International Centre for Diffraction Data).

Medidas de fluorescência de raios X foram realizadas buscando-se a identificação qualitativa e semiquantitativa das composições químicas das amostras de ardósia estudadas. Esta análise foi realizada em um espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva (FRX), da marca Malvern Panalytical, modelo Serie Epsilon 1. As amostras da rocha ardósia analisadas neste trabalho foram submetidas à análise de FRX em estado físico sólido e em forma de pó, com granulometria de 44 μm , característica do peneiramento em malha ABNT 200 mesh. Assim, uma amostra de cada espécie cromática de ardósia, de aproximadamente 3 g, foi inserida no porta amostra cilíndrico, próprio do espectrômetro utilizado, cuja capacidade é de, aproximadamente, 5 cm^3 , para ser exposta a um feixe de radiação para excitação e detecção da radiação fluorescente resultante desta interação com a amostra analisada na forma de pó.

A análise de termogravimetria para avaliação da perda de massa das amostras, em função da temperatura experimentada, foi realizada sobre as quatro amostras de ardósia utilizando um analisador térmico da marca Shimadzu, modelo TGAA-50/50H, utilizando-se os seguintes parâmetros: atmosfera dinâmica de ar, 50 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, taxa de aquecimento de 15°C. $\cdot\text{min}^{-1}$, massa da amostra analisada em torno de 8 mg e temperatura final de 1.000 °C.

A investigação acerca das características morfológicas (tamanho e forma) tanto das partículas unitárias quanto dos seus aglomerados que compunham as amostras de ardósia, em forma de pó, foram obtidas através da técnica de MEV. Esta análise foi realizada usando um microscópio eletrônico de varredura do fabricante TESCAN, modelo Veg3, operado a 20 kV na modalidade de baixo vácuo. As amostras objeto de estudo deste trabalho foram analisadas na forma de pó, com granulometria de 44 μm , depositadas sobre uma fita de carbono dupla face, sem necessidade de metalização, posicionada sobre o porta amostra de aço inoxidável próprio do equipamento utilizado.

2.2.2. Caracterização Física:

A fim de determinar a capacidade de absorção de água das amostras de ardósia estudadas neste trabalho, ou seja, a porcentagem de penetração de líquidos, foi realizado um ensaio físico de absorção de água seguindo, rigorosamente, as recomendações técnicas preconizadas na norma ABNT NBR 15845-2:2015 [7]. Na referida norma é recomendada a confecção de, pelo menos, 10 corpos de prova que devem ser inicialmente submetidos à secagem em estufa e, após a secagem, aferidas suas massas em uma balança hidrostática, obtendo-se, assim, a massa seca (M_{sec}) de cada corpo de prova, ao final considera-se o valor médio das massas dos 10 corpos de prova. Dando sequência ao experimento, segundo a norma, os mesmos corpos de prova devem ser mergulhados em água, por 24 horas, e, então, novamente afere-se suas massas, obtendo-se, assim, o valor médio, para os 10 corpos de prova, da massa saturada (M_{sat}); essa última também conhecida como massa submersa. A partir dos valores coletados neste experimento é possível calcular o valor correspondente ao índice físico da absorção de água do material por meio da Eq.1.

$$\text{Absorção de Água (\%)} = 100 \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{sec}}} \quad (\text{Eq.1})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os difratogramas obtidos a partir dos dados coletados no ensaio de difração de raios X realizado sobre as quatro amostras de ardósia estudadas neste trabalho, de variações cromáticas distintas, estão apresentados sobrepostos na Fig.2.

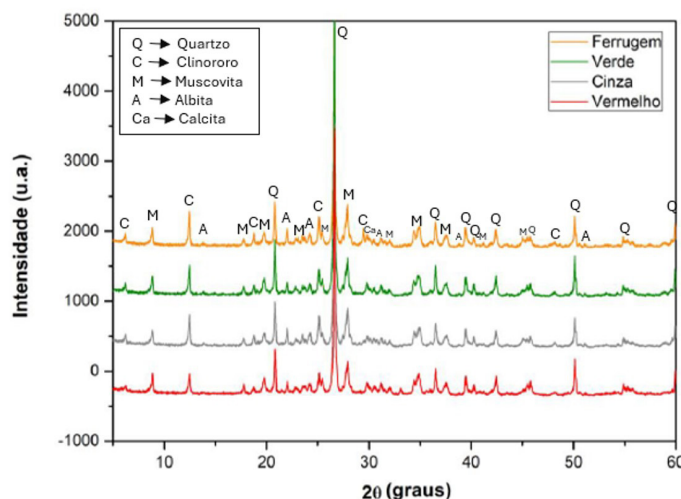


Figura 2. Perfis gráficos representativos dos dados de difração de raios X obtidos para as quatro amostras da pedra ardósia estudadas neste trabalho.

A evidente similaridade dos perfis gráficos dos padrões dos dados de difração das quatro amostras estudadas conduziu à constatação de que as microestruturas das quatro amostras são, de forma majoritária, todas constituídas pelos seguintes minerais: quartzo (SiO_2 ; ICDD 01-086-1560); clinocloro ($(\text{MgFe})_6(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$; ICDD 00-029-0701); muscovita ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$; ICDD 00-007-0032); albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; ICDD 00-020-0554) e calcita (CaCO_3 ; ICDD 01-072-1651). De acordo com estes difratogramas, este último mineral foi detectado apenas na amostra designada como ardósia ferrugem; todavia, mostra-se digno de nota que a não detecção deste mineral nas demais variantes de amostras de ardósia estudadas não significa a ausência deste em suas microestruturas, pois deve ser levado em consideração o limite de detecção da técnica de difração de raios X que, segundo a literatura, apresenta dificuldade em detectar constituintes que apresentem-se com concentração mássica inferior a 5% [8][9]. Sendo assim, supõe-se que na amostra designada como ferrugem haja uma concentração mais expressiva de calcita, fato este que pode limitar a aplicação desta variante considerando-se que este mineral pode se decompor em CaO , como consequência do desprendimento do CO_2 , com relativa facilidade, sob condições mais severas de intemperismo.

Pesquisadores como Palhares [10], Lana [11] e Fuscaldi [12] identificaram fases constituintes análogas às encontradas neste trabalho ao analisarem amostras de pedras de ardósias provenientes da mesma região.

Na Tab.1 estão apresentados os resultados das composições qualitativas e semiquantitativas, referentes às quatro amostras de ardósia estudadas neste trabalho, todos determinados por meio da técnica de espectroscopia por energia dispersiva, FRX. Dentre estes resultados, é possível observar teores expressivos para os constituintes Al_2O_3 e SiO_2 contidos na composição das quatro amostras analisadas; a presença destes dois constituintes totaliza, em média, um teor de aproximadamente 65% da composição total das amostras de ardósia coletadas na região Sul do estado de Minas Gerais. Foi possível observar ainda que o teor da concentração do constituinte Fe_2O_3 se mostrou muito similar para todas as quatro amostras estudadas. Segundo a literatura, a variação cromática das pedras de ardósia está associada à valência dos íons de ferro presentes na microestrutura, bem

como à razão $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. A concentração de constituintes a base de carbono, de origem orgânica, é outro fator determinante do aspecto cromático da rocha, em parte independente do fator mencionado anteriormente [13]. Sendo assim, fica subentendido que o aspecto cromático das pedras de ardósia não é definido pelo teor da concentração do óxido de ferro; mas sim, pela valência dos íons de elemento ferro e, conseqüentemente, pelo valor do seu raio iônico.

Tabela 1. Composições qualitativas e semiquantitativas, obtidas por FRX, das amostras da pedra ardósia, de variações cromáticas distintas, analisadas neste trabalho

Analito (%)	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	MoO_3	MnO
Ardósia cinza	14,68	51,06	0,45	3,86	1,23	0,78	6,83	0,32	--
Ardósia ferrugem	14,19	50,42	0,46	3,88	2,60	0,79	6,35	0,21	0,12
Ardósia verde	14,08	53,45	0,50	4,17	0,65	0,86	6,63	--	0,14
Ardósia vermelha	14,68	53,96	0,46	4,63	1,03	0,84	6,70	--	0,25

Os perfis gráficos referentes à variação de perda de massa nas amostras de ardósia estudadas neste trabalho, em função da temperatura experimentada, obtidos a partir dos dados coletados tanto na análise termogravimétrica (TG) como na sua derivada primeira (DTG), estão representados na Fig.3. As quatro amostras de ardósia estudadas neste trabalho foram submetidas a uma faixa de aquecimento que variou entre 25 e 1000 °C para a realização deste ensaio de análise térmica. Desta forma, foi observado que para os quatro perfis termogravimétricos obtidos, as perdas de massa mais significativas ocorreram em intervalos de temperatura semelhantes e, em todos os quatro casos, a partir de 500 °C. A princípio, baseada nestes resultados de análise termogravimétrica, parece segura a recomendação de emprego destas variações de ardósia para aplicações de revestimentos que não alcancem como temperatura máxima valores a partir de 300 °C.

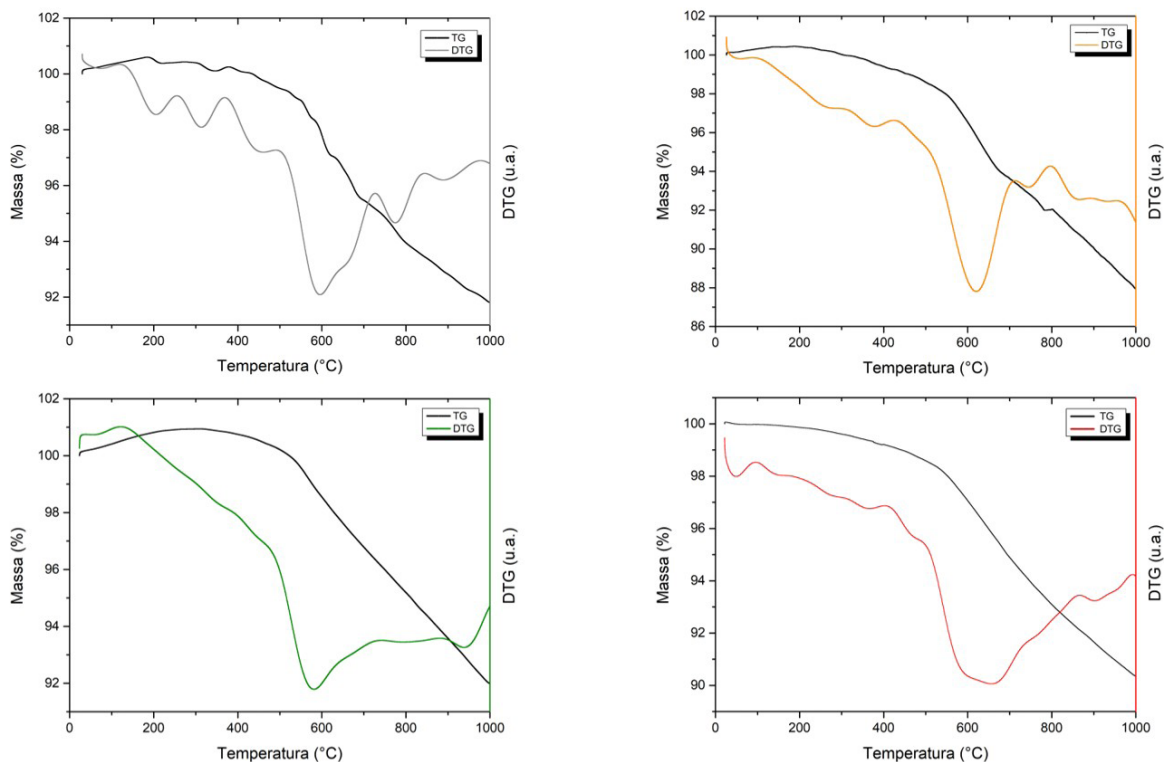


Figura 3. Perfis gráficos representativos dos dados da análise termogravimétrica coletados para as amostras da pedra ardósia estudadas neste trabalho. (a) ardósia cinza. (b) ardósia ferrugem. (c) ardósia verde e (d) ardósia vermelha

Ao analisar a curva da DTG foi possível constatar a ocorrência de picos, para todas as quatro amostras de ardósia estudadas, nas faixas de temperaturas entre 580 e 630 °C e em torno de 720 °C.

A primeira zona térmica pode estar associada às reações de desidroxilação (perda da camada de hidroxilas) e/ou eliminação de água por parte dos constituintes filossilicatos: muscovita e clorita. Já os picos próximos a 720 °C provavelmente estão relacionados ao início da modificação da estrutura cristalina da muscovita, causada pela decomposição da camada octaédrica, neste caso, do tipo gipsita com o alumínio como elemento coordenador [10][14].

Ainda analisando estes perfis termogravimétricos foi possível constatar a ocorrência de picos endotérmicos na faixa de temperatura entre 800 e 870 °C nos resultados referentes às variações de amostras cinza, ferrugem e vermelha. Souza e Mansur [15] atribuem eventos térmicos com essas características à modificação estrutural da muscovita e da clorita, podendo culminar até na destruição de suas estruturas cristalinas. Segundo Lana [11], picos nessa faixa de temperatura podem estar relacionados à recristalização ou neomineralização da mulita. A neomineralização da mulita é uma transformação de fase causada devido à presença, em altas concentrações, dos minerais constituintes sílica e alumina na microestrutura da ardósia. O processo de neomineralização é um fenômeno reacional químico que ocorre entre os minerais constituintes de uma rocha, como resultado deste fenômeno tem-se a conversão dos minerais reagentes em um novo mineral ou apenas a ocorrência de polimorfismo de algum mineral sensível a certas faixas de temperatura.

Ainda com base nos entendimentos alcançados pela pesquisa do Palhares [10], as temperaturas nas quais ocorrem as transformações nas estruturas dos filossilicatos (por exemplo, a muscovita) podem variar de acordo com as condições de sua formação original e com o tamanho de suas partículas. Esse aspecto pode justificar a ocorrência de eventos térmicos, supostamente relacionados à ocorrência de alterações estruturais, representados por picos em temperaturas relativamente próximas, mas não iguais, quando comparadas as quatro amostras de ardósia estudadas neste trabalho. A suposta percepção da ocorrência de alterações estruturais por meio do resultado da análise termogravimétrica, sobre os minerais constituintes, ratifica e valida os resultados qualitativos obtidos por meio da técnica DRX.

Na Fig.4 estão exibidas as fotomicrografias, obtidas por meio da técnica de MEV, para as quatro amostras de ardósia estudadas neste trabalho. Primeiramente, mostra-se digno de nota que é preciso ter ciência que as imagens obtidas por meio de MEV representam as regiões específicas de onde foram retiradas as imagens da amostra e, como não se pode ter garantia sobre a homogeneidade microestrutural de um material rochoso, estas imagens podem não representar a integralidade do material [12].

Ao analisar as imagens das fotomicrografias exibidas na Fig.4, todas com ampliação de 2000×, ficou evidente o aspecto de heterogeneidade granulométrica e morfológica das partículas constituintes das amostras de ardósia estudadas neste trabalho. Foi possível a observação de uma grande variedade de minerais na forma de lamelas, partículas maiores, e outros em forma de prismas, partículas menores. Segundo Lana [11], Palhares [10] e Fuscaldi [12], o formato lamelar é característico dos filossilicatos (por exemplo, a muscovita), já identificados nas análises via DRX e TG/DTG, que compõem a matriz da rocha, o que remete à textura lepidoblástica e está associada à clivagem ardosiana. A morfologia prismática pode também ser atribuída às partículas dos filossilicatos. Palhares [10], Silva [16] e Cárdenes et al. [5] obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho ao analisarem amostras de ardósia em forma de pó. Ficou notória a presença de aglomerados, de diferentes tamanhos, formados pela união das partículas unitárias. Estes aglomerados são provavelmente formados por atração eletrostática fraca, ligações de Van der Waals, entre os compostos minerais de caráter iônico/covalente que compõem as microestruturas das partículas.

Os resultados obtidos a partir da realização do ensaio de absorção de água nas amostras de ardósia estudadas neste trabalho estão apresentados na Tab.2. O ensaio de absorção de água utilizou 10 (dez) corpos de prova, para cada variação cromática. Sendo assim, os índices de absorção de água apresentados na Tab.2, para cada amostra de ardósia, correspondem ao valor médio dos índices de absorção de 10 corpos de prova de cada amostra ou variação cromática analisada. A partir dos resultados obtidos neste ensaio foi observado que as quatro amostras estudadas, com variações cromáticas distintas, possuem valores de índice de absorção de água muito próximos entre si e todos dentro dos limites especificados como recomendados pela Norma ABNT NBR 15845-2:2015 ($\leq 0,6\%$) para aplicação como material rochoso de revestimento de piso, paredes ou bancadas [7]. Desta forma, com base nestes resultados obtidos, pode-se afirmar que as amostras de ardósia estudadas neste trabalho são espécimes representativos de materiais rochosos aptos para aplicação como rochas ornamentais no segmento da construção civil.

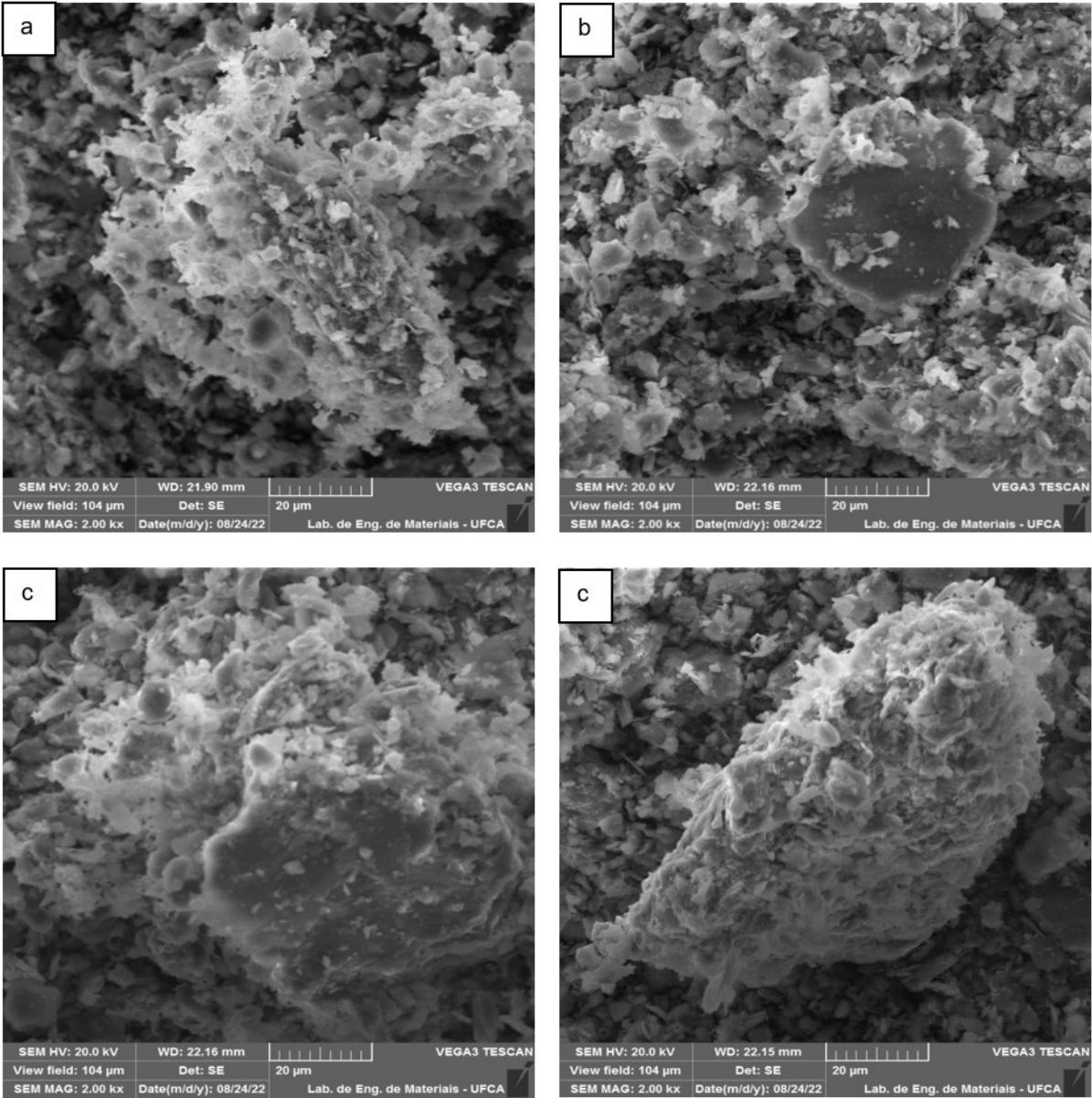


Figura 4. Fotomicrografias com ampliação de 2000×, obtidas por MEV, das amostras da pedra ardósia, em forma de pó, estudadas neste trabalho: (a) ardósia cinza; (b) ardósia ferrugem; (c) ardósia verde e (d) ardósia vermelha

Tabela 2. Índices de absorção de água obtidos para as amostras das quatro variações cromáticas distintas da pedra ardósia estudadas neste trabalho

Amostra	Índice de absorção (%)	Desvio Padrão
Ardósia cinza	0,41	± 0,01
Ardósia ferrugem	0,39	± 0,02
Ardósia verde	0,38	± 0,03
Ardósia vermelha	0,44	± 0,01

A absorção de água está fortemente ligada à porosidade efetiva, ou seja, quanto menor a porosidade efetiva, menor a absorção de água e, provavelmente, maior sua resistência físico-mecânica [4]. Segundo Rodrigues [17], propriedades físicas como porosidade aparente e absorção de água estão relacionadas entre si e podem exercer influência direta na resistência mecânica do material, como no caso de rochas com alta densidade que apresentam uma alta resistência mecânica. Todos esses

parâmetros são de extrema importância quando se deseja utilizar os índices físicos para caracterizar um determinado material rochoso.

Os índices de absorção de água coletados neste trabalho são bastante similares aos relatados por Chiodi Filho et al [13] bem como aos valores apresentados como próprios para materiais rochosos destinados para revestimentos no Catálogo das Rochas Ornamentais do Brasil [18].

4. CONCLUSÕES:

As quatro variações cromáticas de amostras de ardósia estudadas neste trabalho são constituídas pelos mesmos minerais majoritários: quartzo, muscovita, clinoclóro e albita. Tendo em vista o alto grau de semelhança entre os difratogramas obtidos, tanto com relação aos ângulos de incidência quanto com relação às intensidades dos picos, do ponto de vista qualitativo, pode-se estimar que as proporções desses minerais sejam semelhantes nas quatro amostras. Porém, para a obtenção de valores quantitativos precisos destas porcentagens se recomenda o emprego de técnicas de refinamento de dados aos perfis gráficos obtidos. Desse modo, tendo como referência apenas o caráter qualitativo das fases constituintes de maior prevalência, deduz-se que as quatro variações de ardósia estudadas neste trabalho apresentem propriedades mecânicas equivalentes.

Em relação a amostra ferrugem, foi possível detectar a presença de calcita, considerada fase acessória devido à baixa intensidade do único pico característico da fase. Esse fato pode indicar um maior teor deste mineral na amostra em questão, quando comparada a porcentagem da mesma fase nas demais colorações. Essa circunstância pode conferir uma menor resistência ao intemperismo à essa variante, o que tende a demandar uma avaliação mais cautelosa concernente às potencialidades de aplicações na construção civil desta variante da pedra ardósia.

O aspecto cromático da pedra de ardósia muito possivelmente está relacionado ao tamanho do raio iônico do elemento ferro, isto é, à valência deste elemento catiônico; bem como, ao teor da concentração de matéria orgânica contida como parte constituinte da microestrutura deste tipo de rocha.

Por meio da análise termogravimétrica foram revelados picos característicos de eventos térmicos que podem ser atribuídos às alterações estruturais sofridas pelo aquecimento de certos constituintes, como por exemplo da muscovita. Esta percepção corrobora com a identificação qualitativa encontrada no ensaio de DRX.

A caracterização morfológica da textura, via MEV, revelou uma expressiva heterogeneidade em relação ao tamanho e a forma das partículas constituintes das amostras de ardósia em forma de pó. Foram detectadas partículas unitárias em formatos lamelares, com aparência de flocos finos, e outras em formatos prismáticos.

Os índices de absorção de água aferidos se mostraram semelhantes para as quatro variações cromáticas de ardósia; assim, espera-se que exerçam influência de maneira similar sobre as propriedades físico-mecânicas destes materiais. Os valores encontrados para esta propriedade física, para as quatro amostras, estão abaixo do limite máximo recomendado pela norma regulamentadora para aplicação de materiais rochosos como revestimento para o setor da construção civil.

AGRADECIMENTOS:

À Universidade Federal do Cariri pelo suporte financeiro e infraestrutural dispensados em favor do desenvolvimento deste trabalho bem como à indústria de lavra e exploração de pedras de ardósia que disponibilizou as amostras analisadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS:

- [1] Chiodi Filho C, Rodrigues E P, 2020. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. Projeto Bula. São Paulo: Abirochas.
- [2] Chiodi Filho C, 2022. Balanço das exportações e importações brasileiras de materiais rochosos naturais e artificiais de ornamentação e revestimento em 2021. São Paulo: Abirochas.
- [3] Marinho M, 2019. Ardósia: uma rocha subestimada. <https://www.minasjr.com.br/ardosia-uma-rocha-subestimada/>
- [4] Wichert J, 2020. Slate as dimension stone: origin, standards, properties, mining and deposits. Freiberg: Springer.
- [5] Cárdenes V, Rubio-Ordóñez Á, Wichert J, Cnudde J P, Cnudde V, 2014. Petrography of roofing slates. *Earth-Sci Rev* 138, 435-453.

- [6] Toledo J F, 2016. Estudo da reatividade do resíduo de ardósia como adição em matrizes cimentícias. Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- [7] NBR 15845-2, 2015. Rochas para revestimento. Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [8] Antoniassi J L, Contessotto R, Kahn H, 2015. Classificação de domínios mineralógicos em depósito de níquel por DRX cluster analysis em apoio à geometalurgia. Poços de Caldas: Anais da Associação Brasileira de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa.
- [9] Cárdenes V, Cnudde V, Cnudde J P, 2015. Petrografia de telhas de ardósia para avaliação da qualidade. Mundo 1, 12-16.
- [10] Palhares L B, 2017. Estudo da estabilidade e comportamento de suspensões aquosas de pó de ardósia para aplicação em processamento cerâmico. Doutorado em Engenharia de Materiais. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- [11] Lana S C, 2017. Avaliação da atividade pozolânica do resíduo de corte de ardósia. Mestrado em Engenharia Civil. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- [12] Fuscaldi F M, 2018. Estudo da influência do tratamento termo-mecânico nas propriedades do resíduo de ardósia. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [13] Chiodi Filho C, Rodrigues E P, Artur A C, 2003. Ardósias de Minas Gerais, Brasil: características geológicas, petrográficas e químicas. Rev Geociências 22, 2, 119-127.
- [14] Sánchez-Soto P, Ruiz-Conde A, Bono R, Raigón M, Garzón E, 2007. Thermal evolution of a slate. J Therm Anal Calorim 90, 1, 133-141.
- [15] Souza L, Mansur H, 2004. Production and characterization of ceramic pieces obtained by slip casting using powder wastes. J Mater Process Techn 145, 1, 14–20.
- [16] Silva M E M C, 2005. Caracterização dos produtos gerados no processo de expansão térmica de rejeitos de ardósia. Doutorado em Engenharia Metalúrgica e Minas. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [17] Rodrigues A S, 2017. Caracterização tecnológica de uma rocha pegmatítica localizada na região de Equador/RN visando a sua utilização como rocha ornamental. PPGEMinas. Recife: Universidade Federal do Pernambuco.
- [18] CETEM 2002. Catálogo das rochas ornamentais do Brasil. Centro de Tecnologia Mineral e Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Rio de Janeiro: CETEM.