



ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO NOS GRANITOS CEARENSES RED DRAGON, ROSA IRACEMA E BRANCO CEARÁ

Alina de Oliveira RIBEIRO¹, Davi Henrick Veras DIÓGENES², Carlos Eduardo Maciel CRUZ², Pedro Henrique Fernandes RODRIGUES² & Irani Clezar MATTOS³

RESUMO: As rochas utilizadas nas edificações, revestimentos e ornamentação, desde os primórdios da sociedade, são sinônimos de beleza, durabilidade e luxo. Com base nisso, o presente estudo visou identificar a resistência de três granitos, largamente comercializados como rochas ornamentais no Ceará. A resistência aos possíveis danos causados pelo contato com reagentes químicos. Foram analisados a composição mineralógica, a cor e o brilho do polimento dos granitos antes e após o ataque químico; as alterações causadas nesses parâmetros foram descritas, analisadas e interpretadas. Os testes foram realizados tomando por base a norma ABNT NBR 16596 de 2017, que estipula 10 diferentes reagentes em intervalos de tempo que variam de 24 a 96 horas. Após a retirada dos reagentes e a limpeza das amostras, foi constatado um impacto no valor estético da rocha decorrente de mudanças de cor, perda de brilho, dissolução ou alteração mineral. O ensaio apontou os reagentes mais danosos, são eles o ácido cítrico, ácido clorídrico e hidróxido de potássio. A rocha que apresentou alta resistência foi o Branco Ceará, o Rosa Iracema mostrou uma resistência intermediária e o Red Dragon uma baixa resistência, sendo a ordem associada a composição mineralógica.

Palavras-chave: Ataque químico. Perda de Brilho. Rochas Ornamentais.

ABSTRACT: *Stones have been utilized in the structure of buildings, decoration and ornamentation since the constitution of the human society, up to nowadays they still remain as items that represent elegance, endurance and sometimes luxury. Starting from this assumption, this article intends to identify what types of damage can possibly come from the contact of the polished surface of a few ornamental stones with determined chemical reagents used on a daily basis, for instance components of cleaning products or organic acids encountered in food. In order to constitute the test, three distinctive well-known and commercially appreciated ornamental stones were chosen. The first step was to analyze the stones' brightness, color and mineralogical composition, subsequently to the chemical attack; they were analyzed and the changes caused in these parameters were described. The tests comply with the 2017 ABNT NBR 16596 standards, in which there are 10 different reagents that are stipulated at time intervals that vary*

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

² Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

³ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

* Autor para correspondência: Alina Oliveira Ribeiro

Departamento de Geologia – UFC – Campus do Pici, Bloco 912. Fortaleza/CE.

E-mail: alinaufc@alu.ufc.br



from 24 to 96 hours. After removing the reagents and cleaning the samples, an impact on the stones' aesthetic value occurred due to the modification in color, the decreasing of brightness, dissolution or mineral alteration. The essay pointed out the most harmful reagents, which are citric acid, hydrochloric acid, and potassium hydroxide. The rock that showed high resistance was White Ceará, Rosa Iracema showed intermediate resistance, and Red Dragon exhibited low resistance, with the order being associated with the mineralogical composition.

Keywords: Chemical attack. Decreasing of brightness. Ornamental stones.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento são de grande importância para a construção civil, e geralmente representam uma boa parcela dos custos das edificações verticais e horizontais. A preferência dos arquitetos e engenheiros pelas rochas ornamentais em detrimento a outros tipos de revestimentos não pétreos se dá devido ao elevado valor estético e à grande durabilidade, que estão associados às rochas ornamentais.

Para que haja essa durabilidade, a escolha do material certo é imprescindível, haja visto que cada rocha possui suas peculiaridades no quesito de composição, textura, estrutura, dentre outros. As rochas naturais utilizadas em edificações em ambientes externo e interno, são comumente expostas diariamente a elementos agressivos, como ácidos, poluição, produtos de limpeza, choque de objetos, abrasão, chuva direcionada, entre outros.

Diante do exposto, torna-se necessário estudos e análises aprofundados a respeito dos danos que alguns granitos podem sofrer ao longo

do tempo de uso, pois a dimensão dos possíveis danos causados nessas interações, devem ser conhecidas pelos arquitetos e engenheiros responsáveis pelo empreendimento, para uma melhor tomada de decisões quanto à utilização adequada dessas rochas. Tais danos são irreversíveis, acarretando em um polimento onde irá haver a diminuição da espessura, e ao decorrer do tempo, ocasionando a troca do material.

O presente estudo objetivou a identificação e análise da resistência aos danos causados por reagentes sobre três rochas de grande valor estético e econômico: Branco Ceará, Red Dragon e Rosa Iracema, além da recomendação de uso destas. Tais reagentes possuem baixa concentração e atuam em um curto período de tempo, simulando substâncias utilizadas cotidianamente. Os granitos escolhidos são conhecidos por sua cor e brilho característicos, e a perda e/ou alterações dessas feições representa uma patologia. Dessa forma, a durabilidade da rocha consiste na resistência que ela apresenta a esses tipos de alterabilidade.

Os estudos de durabilidade aqui adotados, se baseiam nas pesquisas de



alterabilidade propostas por Aires-Barros (1991) e também no Ensaio de resistência ao ataque químico da NBR 16596 (ABNT, 2017). Neste estudo foram estabelecidas avaliações visuais, medições de brilho e de colorações para registrar as mudanças físicas e estéticas dos granitos gerados pelos diversos reagentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As rochas estudadas são extraídas no estado do Ceará e levam os nomes comerciais de Red Dragon, Rosa Iracema e Branco Ceará, não possuem semelhança física ou tecnológica entre si, mas são rochas graníticas de idade neoproterozóica e muito utilizadas em obras de

construção civil no comércio nacional e internacional, além de serem conhecidas pela sua beleza e durabilidade. Neste trabalho foram obtidas as principais características mineralógicas das rochas (Tabela 1) a fim de entender quais os componentes mais suscetíveis à alterabilidade. O Red Dragon é um sienogranito brechóide caracterizado pela sua distinta coloração vermelha imposta pela oxidação do ferro presente nos cristais de ortoclásio. A rocha apresenta cataclase variada de porções fortemente cataclásticas até porções praticamente preservadas. Os cristais de ortoclásio apresentam dimensões entre 2 mm e 25mm (AZEVEDO *et al.*, 2016).

Tabela 1: Síntese das características petrográficas.

| Características petrográficas | | AMOSTRAS | | |
|----------------------------------|---|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | Red Dragon | Rosa Iracema | Branco Ceará |
| Mineralogia (%) | Quartzo | 25,0 | 31,0 | 33,5 |
| | Plagioclásio | 21,0 | 17,1 | 35,0 (albita) |
| | Feldspato Potássico | 45,0 | 42,0 | 23,0 |
| | Biotita | -- | 6,0 | -- |
| | Hornblenda | -- | 0,5 | -- |
| | Opacos | Tr | 0,3 | Tr |
| | Apatita | Tr | 0,3 | Tr |
| | Allanita | -- | Tr | -- |
| | Zircão | Tr | 0,3 | 0,5 |
| | Fluorita | -- | Tr | 1,5 |
| | Zinnwaldita | -- | -- | 4,0 |
| | Topazio | -- | -- | 0,5 |
| | Muscovita | -- | -- | 1,5 |
| | Clorita, sericita/muscovita, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro, argilominerais. | 9,0 | 2,5 | 0,5 |
| Minerais Pesados (%) | 9,0 | 9,9 | 8,5 | |
| Estrutura | Maciço | Isotrópico | Isotrópico | |
| Textura | Inequigranular | Inequigranular | Inequigranular | |
| Granulação (mm) | Variação | 0,2 - 25,0 | 0,5 - 35,0 | 1,0 - 7,0 |
| | Predominância | 0,3 - 10,0 | 5,0 - 15,0 | 3,0 - 5,0 |
| Microfissuras/mm | | 1,10 | 0,25 | 0,18 |
| Microfissuras (%) | Intragrãos Preenchidas | 26,0 | 43,4 | 22,5 |
| | Intragrãos Não Preenchidas | 35,0 | 38,9 | 61,2 |
| | Intergrãos Preenchidas | 17,5 | 5,0 | 2,0 |
| | Intergrãos Não Preenchidas | 21,5 | 12,7 | 14,3 |
| Alteração Mineral | Feldspatp K | Moderada a alta | Baixa | Moderada |
| | Plagioclásio | Moderada a Alta | Baixa a Moderada | Incipiente |
| | Biotita | Moderada a alta | Moderada a Alta | Incipiente |
| Contatos (%) | Planos | 4 | 17 | 5 |
| | Serrilhados | 47 | 54 | 75 |
| | Côncavo-convexos | 49 | 29 | 20 |
| Classificação Petrográfica (QAP) | | Sienogranito Brechóide | Sienogranito: Inequigranular grosso | Microclínio-albita Granito |

Adaptada de (AZEVEDO, 2013) e (MATTOS et al., 2020).



O Red Dragon é um sienogranito brechóide caracterizado pela sua distinta coloração vermelha imposta pela oxidação do ferro presente nos cristais de ortoclásio. A rocha apresenta cataclase variada de porções fortemente cataclásticas até porções praticamente preservadas. Os cristais de ortoclásio apresentam dimensões entre 2 mm e 25mm (AZEVEDO *et al.*, 2016).

O granito Rosa Iracema é um sienogranito com hornblenda pertencente ao *stock* granítico Serra do Barriga, localizado na porção NNW do Estado do Ceará. Apresenta textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, possui coloração rosada característica e é mineralogicamente composto por quartzo (SiO_2), microclínio (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), oligoclásio ($(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$), biotita ($\text{K}_2\text{Fe}_6(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20})(\text{OH})$), hornblenda ($\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{AlO}_{22})(\text{OH})_2$), apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH,F,Cl})$), titanita ($\text{CaTi}(\text{SiO}_4)(\text{OH,F,O})$), allanita ($\text{Ca}(\text{REE})\text{Al}_2\text{Fe}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$) e fluorita (CaF_2) (Mattos *et al.*, 2013).

O Branco Ceará é um microclínio-albita-granito extraído no município de Santa Quitéria (CE). Composto por quartzo (SiO_2), albita, microclínio, biotita e zinwaldita ($\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$). Possui granulação de 1mm a 7mm com estrutura maciça e fracamente orientada.

Os testes químicos foram realizados tomando por base a norma ABNT NBR 16596 (ABNT, 2017) e os reagentes por ela propostos, que são

presentes em produtos de limpeza ou substâncias naturais. Estes reagentes em baixa concentração foram aplicados sobre placas polidas dos três granitos.

O ataque químico foi realizado em quatro placas polidas de cada rocha com dimensões de 20x20x2cm, com superfície lisa e plana, na qual não demonstravam alterações aparentes. Para cada placa foram separados quatro quadrantes, no qual foram colados com silicone, cilindros de policloreto de vinil (PVC). Após a secagem do silicone nas amostras, foi feita a lavagem e secagem das mesmas, para dar prosseguimento para a aplicação dos reagentes. Para cada quadrante, foi feita uma marcação na lateral dos corpos de prova, onde correspondia a etiqueta de identificação. Logo após, os reagentes foram adicionados na superfície polida das rochas, e em seguida, as placas *petri* foram utilizadas para como tampas a fim de evitar a perda dos reagentes por evaporação. Os reagentes utilizados foram: Hidróxido de potássio de 30 g/L e 100 g/L, Ácido clorídrico de 3% e 18%, Cloreto de amônio de 100 g/L, Ácido cítrico de 100 g/L, Ácido láctico de 100g/L, Hipoclorito de sódio de 20 mg/L, Ácido acético de 3% v/v e Água deionizada. Tais reagentes simulam os danos causados pelo contato da rocha com materiais de limpeza, bebidas, substâncias ácidas e básicas em uma velocidade acelerada.

Antes dos reagentes serem colocados em contato com as amostras elas foram fotografadas utilizando a lupa Nikon "SMZ18", no



zoom de “7,5X”, e o brilho de todos os quadrantes foram medidos com o medidor de brilho Zehntner ZGM “1020”. Após esta etapa, as rochas foram colocadas em contato com os dez reagentes propostos pela norma (Tabela 2).

Após o tempo de ataque determinado (Tabela 2), os reagentes foram retirados e as rochas limpas com água corrente. Posteriormente, as alterações foram analisadas a olho nu,

foram observadas mudanças de cor, corrosão, degradação de minerais e mudança na aspereza. As rochas foram levadas novamente à lupa, fotografadas e o seu brilho foi novamente medido para a obtenção de um valor numérico que represente a perda de brilho após o ataque com cada reagente, onde os valores positivos representam o aumento do brilho e os negativos a perda.

Tabela 2: Reagentes de acordo com a norma ABNT NBR 16596.

| Produtos simulados pelos reagentes | Reagentes | Fórmula Química | Concentração | Tempo de Ataque |
|---|-----------------------|--|--------------|-----------------|
| Detergentes e sabões | Cloreto de Amônio | NH ₄ Cl | 100g/L | 24 horas |
| Desinfetantes e agentes alvejantes | Hipoclorito de sódio | NaClO | 20 mg/L | 24 horas |
| Sucos, Frutas cítricas e Refrigerante | Ácido cítrico | C ₆ H ₈ O ₇ | 100 g/L | 24 horas |
| Produtos alimentícios | Ácido láctico | C ₃ H ₆ O ₃ | 100 g/L | 24 horas |
| Vinagre, Solventes, Perfumes e Corantes | Ácido acético | CH ₃ COOH | 3% v/v | 24 horas |
| Ácido muriático | Ácido clorídrico | HCl | 3% v/v | 96 horas |
| Ácido muriático | Ácido clorídrico | HCl | 18% v/v | 96 horas |
| Sabões em geral | Hidróxido de potássio | KOH | 30 g/L | 96 horas |
| Sabões em geral | Hidróxido de potássio | KOH | 100 g/L | 96 horas |
| | Água deionizada | H ₂ O | | 96 horas |

Fonte: ABNT (2017).

A resistência que uma rocha apresenta ao ataque químico, sua “durabilidade química” depende de sua mineralogia e características mineralógicas (NAVARRO, 2002), como por exemplo, microfissuras, natureza do preenchimento das microfissuras, porosidade aparente e estrutura. Por se tratarem de três rochas com algumas características diferentes, as mesmas

obtiveram respostas aos ensaios de formas distintas. Com base nisso, Meyer propôs uma classificação da resistência química, levando em consideração alguns parâmetros, como demonstra a Figura 1.

Figura 1: Classificação da resistência química.



Fonte: Adaptada tendo por base Meyer (2003).

A classificação proposta por Meyer classifica a perda de brilho como alta ou baixa, a alteração cromática como sendo observada, sutil, evidente, muito evidente e as feições de corrosão, como observáveis e não observáveis. A partir disso, foi elaborado essa figura para fundamentos na interpretação dos corpos de prova, onde por meio do percentual da perda de brilho a rocha foi classificada como insignificante (não observável) e significativa (sutilmente observável a ligeiramente observável), bem como na alteração cromática sendo classificada como possuindo ou não, e, por fim, nas feições tais como a substituição e o desprendimento mineral, sendo descrita se houve ou não.

Baseados nos dados obtidos após o período de exposição da rocha, classificou-se a resistência segundo níveis de resistência ao ataque químico de acordo com os critérios exposto na Figura 1. O critério da perda de brilho tem um caráter quantitativo com um valor expresso em porcentagem, a

mudança de cor tem caráter qualitativo/quantitativo, pois ela deve ser estimada em uma escala de 0 a 10, sendo 0 a rocha inalterada (logo sem perda de valor estético) e o 10 a rocha apresentando mudança de cor muito evidente (logo representando uma grande perda do valor estético), os critérios de substituição e desprendimento mineral são sobretudo observacionais, eles devem ser perceptíveis a olho nu ou em pequeno aumento, pois se forem muito sutis, não representarão uma perda significativa do valor estético.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As rochas apresentaram mudanças de brilho que variam de 12 % a 49%, algumas amostras apresentaram uma alteração positiva de brilho, o que foi interpretado como um embranquecimento da superfície, que gerou uma maior reflexão de luz, logo, um aparente aumento no brilho. O Red dragon foi a rocha mais impactada nos ensaios, seguido pelo Branco Ceará e o Rosa Iracema. As medidas de brilho inicial, brilho final e perda de brilho em



porcentagem se encontram na Tabela

3.

Tabela 3: Valores obtidos através da medição de brilho antes e depois do ataque químico.

| Amostras Reagentes | Red Dragon | | | | Rosa Iracema | | | | Branco Ceará | | | |
|----------------------------|----------------|--------------|-----------------|-----|----------------|--------------|-----------------|-----|----------------|--------------|-----------------|-----|
| | Brilho Inicial | Brilho final | Perda de Brilho | NRQ | Brilho Inicial | Brilho final | Perda de Brilho | NRQ | Brilho Inicial | Brilho final | Perda de Brilho | NRQ |
| cloreto de amônio | 74,17 | 75 | 1,11% | A | 86,05 | 80,16 | -6,84% | A | 80,95 | 82,44 | -1,84% | A |
| Hipoclorito de sodio | 71,32 | 69,81 | -2,11% | A | 88,03 | 86,56 | -1,66% | A | 81,26 | 84,65 | -4,17% | A |
| ácido cítrico | 54,92 | 41,67 | -24,12% | E | 73,92 | 82,92 | 12,17% | C | 77,95 | 69,68 | -10,60% | C |
| ácido láctico | 54,71 | 49,15 | -10,16% | B | 82,65 | 81,21 | -1,74% | A | 73,43 | 71,14 | -3,11% | A |
| ácido acético | 55,08 | 52,99 | -3,79% | A | 89,53 | 77,7 | -13,21% | B | 76,05 | 73,39 | -3,49% | A |
| ácido clorídrico 3% | 55,65 | 45,99 | -17,35% | D | 81,5 | 73,94 | -9,27% | D | 80,14 | 66,3 | -17,26% | E |
| ácido clorídrico 18% | 52,39 | 34,13 | -34,85% | F | 85,01 | 75,05 | -11,71% | F | 84,88 | 60,22 | -29,05% | F |
| Hidróxido de potássio 30% | 71,13 | 40,26 | -49,34% | E | 83,97 | 75,09 | -10,57% | C | 67,16 | 70 | 4,22% | A |
| Hidróxido de potássio 100% | 64,19 | 57,5 | -10,42% | B | 86,57 | 61,1 | -29,42% | C | 85,9 | 70,78 | -17,60% | E |
| água deionizada | 68,48 | 74,41 | 8,56% | A | 86,26 | 83,2 | -3,54% | A | 79,09 | 79,8 | -0,89% | A |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Efeitos Produzidos pelos Reagentes Normalizados

Para este tópico, adotou-se uma classificação no tocante a perda de brilho, baseado nas observações visíveis a olho nú (Figura 2).

Figura 2: Classificação da perda de brilho.

| PERDA DE BRILHO (%) |
|--|
| Não observável a olho nú 0 - 9 |
| Parcialmente observável a olho nú 10 - 15 |
| Observável a olho nú 16 - 25 |
| Ligeiramente observável a olho nú > 25 |

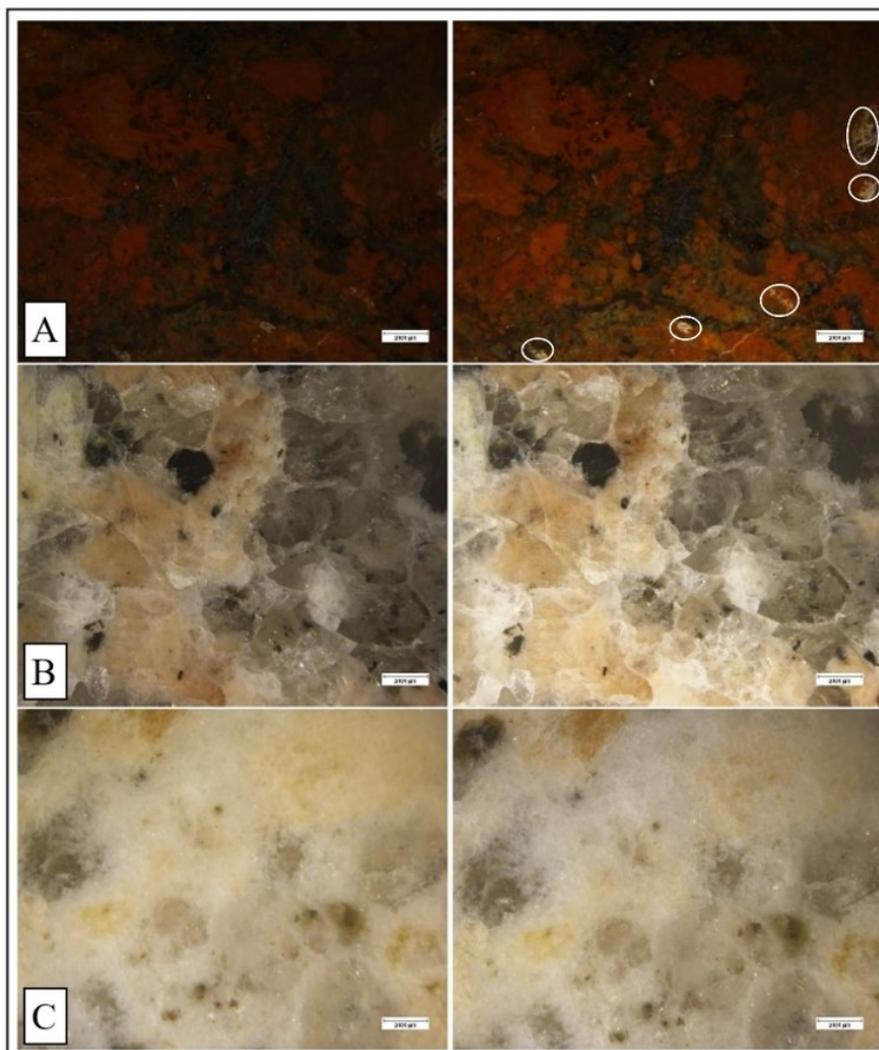
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

mudança perspectiva a olho nu em nenhuma das rochas. O brilho mais impactado foi o do granito Rosa Iracema (6,84%). O Branco Ceará apresentou uma alta resistência a perda de brilho e a alteração cromática, mas o Red Dragon, embora tenha apresentado resistência a perda de brilho, apresentou alterações cromáticas como amarelamento dos plagioclásios e também aumento da área embranquecida (composta por argilominerais). Os ensaios demonstraram que o Branco Ceará apresenta uma maior resistência a esse reagente, seguido pelo Rosa Iracema e por fim o Red Dragon, como demonstra a Figura 3.

Cloreto de Amônio - NH₄Cl

O cloreto de amônio não causou uma perda de brilho significativa, ou seja,

Figura 3: Rochas antes (esquerda) e após (direita) do ataque com cloreto de amônio, destacando os plagioclásios alterados no Red Dragon.



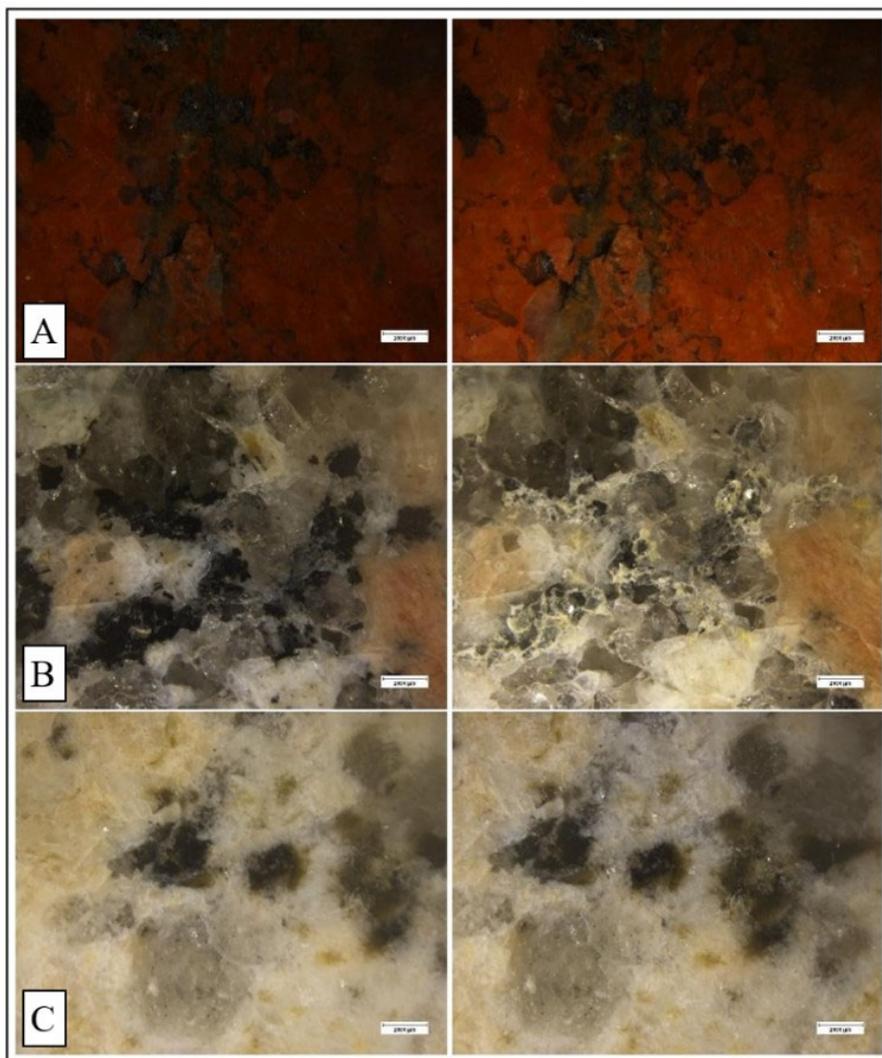
Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Hipoclorito de Sódio – NaClO

As rochas Red Dragon e Branco Ceará apresentaram resistência ao hipoclorito de sódio, já a amostra do Rosa Iracema apresentou alteração cromática devido ao amarelamento das biotitas (Figura 4). A redução de brilho das amostras analisadas ficou entre 1,66 e 4,17%, que é uma alteração imperceptível a olho nú, devido aos baixos valores. Segundo Mattos *et al.* (2020) a resistência que os granitos apresentam ao NaClO se deve aos

cátions alcalinos e alcalinos terrosos que formam os minerais já se encontrarem em seu estado de oxidação máxima, logo não são oxidados pela interação com o NaClO.

Figura 1: Rochas antes (esquerda) e após (direita) do ataque com hipoclorito de sódio.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Ácido Cítrico – $C_6H_8O_7$

O Ácido cítrico causou uma perda de brilho e alteração cromática perceptível em todas as rochas, mas especialmente no Red Dragon, a perda de brilho e a alteração cromática foram acentuadas, chegando a 24,12% e o desprendimento mineral também foi observado, na qual se encontra destacado na cor branca.

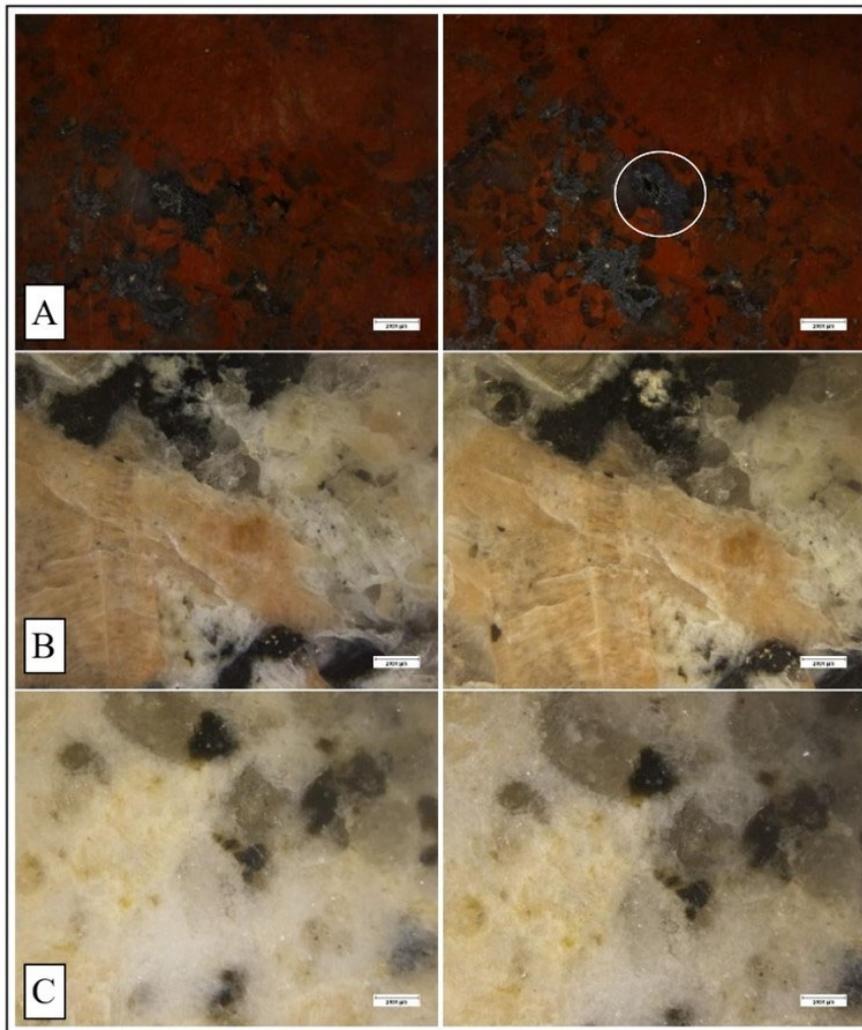
No Branco Ceará ocorre um intenso amarelamento do plagioclásio associado a uma perda de brilho de

10,60%. O Rosa Iracema passou por um amarelamento dos plagioclásios e um embranquecimento dos feldspatos, essas alterações levaram a um aumento de 12,17% do brilho.

Por meio da análise visual, é válido ressaltar que as alterações cromáticas juntamente com a elevada perda de brilho, apresentam baixa resistência das rochas estudadas ao ácido cítrico, especialmente para o Red Dragon, onde houve o desprendimento

mineralógico na porção circulada (Figura 5).

Figura 2 - Rochas analisadas antes (esquerda) e depois (direita) do ataque químico com ácido cítrico, evidenciando o desprendimento mineral visível a olho nu.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

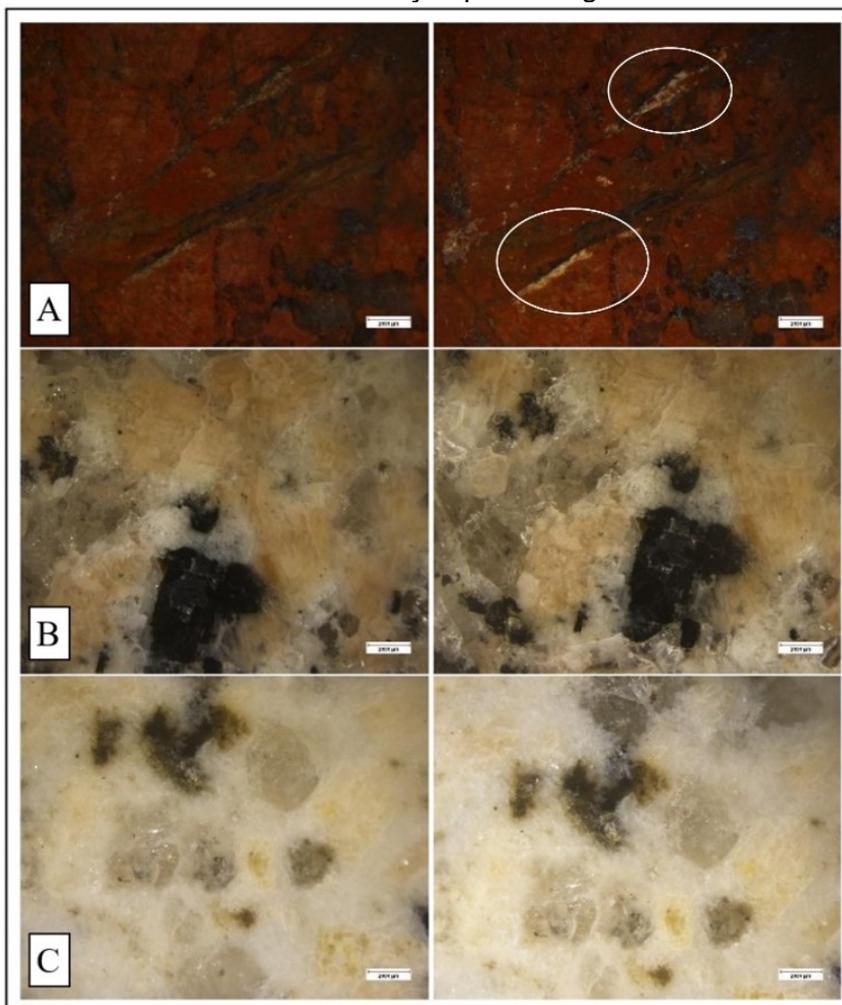
Ácido Lático – $C_3H_6O_3$

O Ácido lático não causou danos descomuns ao Branco Ceará e ao Rosa Iracema, em contrapartida grandes danos foram causados ao Red Dragon, onde pode ser observada uma perda de 10% do brilho, além de uma mudança de cor perceptível (Figura 6).

A amostra de Red Dragon se apresenta moderadamente alterada, com uma coloração levemente amarelada e um pouco de alteração

para argilominerais em algumas fraturas, após o ataque químico o amarelamento diminuiu e a alteração para argilominerais se intensificou, passando a ocupar mais fraturas do que antes e exibindo uma coloração branca mais intensa.

Figura 3: Rochas antes (esquerda) e após (direita) ao ataque químico com o ácido láctico, evidenciando a alteração para o argilomineral.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Ácido Acético - CH_3COOH

O ácido acético, para as rochas Red Dragon E Branco Ceará, se mostrou um ensaio satisfatório, isso devido a estas apresentaram uma grande resistência para o mesmo, não sofrendo alteração cromática e uma singela perda de brilho, não alcançando 4%. Já para o Rosa Iracema, esta sofreu danos, apresentando um leve amarelamento, acarretando uma perda de brilho de 13,21%. Esta alteração pode ser vista nas porções que possuem maior quantidade de feldspato potássio (Figura 7).

17

Ácido Clorídrico – HCl

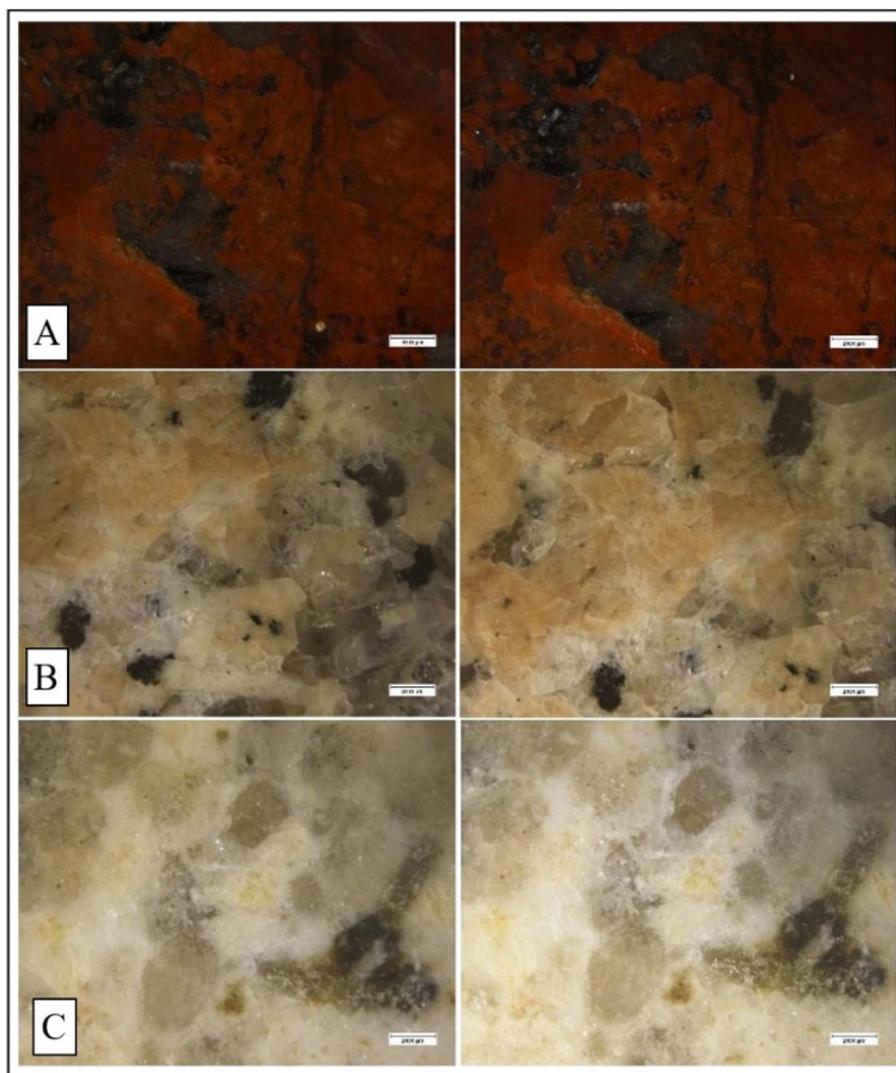
O ácido clorídrico foi utilizado em duas concentrações, de 18% e 3%, conforme a norma. Este reagente foi o segundo mais danoso do ensaio. As rochas foram fortemente afetadas pelo ácido clorídrico, apresentando perda de brilho e alteração cromática.

A rocha mais alterada pelo ácido clorídrico foi o Red Dragon, que apresentou uma perda de brilho de 17% com o ácido clorídrico a 3% e uma perda de brilho de 34,85% com o ácido a 18%. As porções mais escuras da

rocha, que fica entre os plagioclásios, sofreram substituição por argila amarela e em alguns pontos da porção interna dos feldspatos e em alguns contatos feldspato/quartzo evidencia-se uma substituição por argila branca. A rocha se encontra fortemente amarelada (Figura 8).

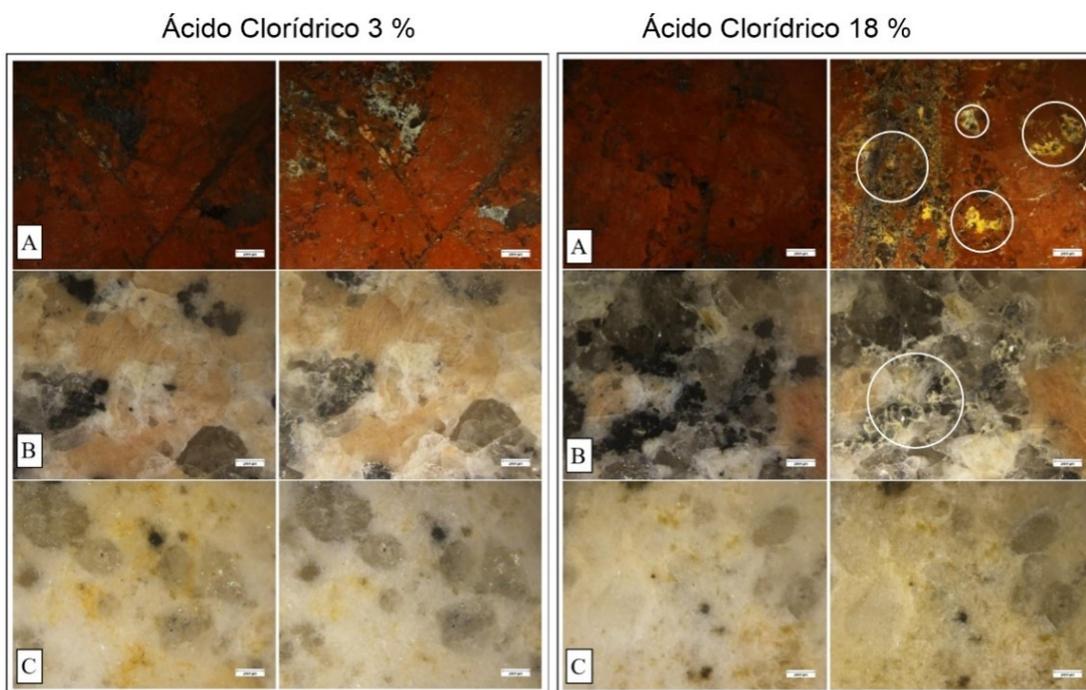
A segunda rocha mais impactada pelo reagente foi o Rosa Iracema, que apresentou uma perda de brilho de 17,26% com o ácido a 3% e de -29,05% com o ácido a 18%. O ácido causou uma forte dissolução da albita e seus contatos, além de um intenso amarelamento (Figura 8).

Figura 7: Rochas antes (esquerda) e após (direita) do ataque com ácido acético.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Figura 4: Rochas antes (esquerda) e após (direita) do ataque com ácido clorídrico.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

No Branco Ceará o ácido clorídrico causou uma menor perda de brilho, de 9,27% com o Ácido Clorídrico a 3% e de 11,17% com ele a 18%, mas em contrapartida o ácido causou uma intensa mudança de cor na rocha. As biotitas foram total e/ou parcialmente corroídas, formando cavidades com substituição por argila amarela e óxido de ferro nos contatos, assim como observado por Mattos et al. (2020). Um embranquecimento dos feldspatos também foi notado.

Hidróxido de Potássio – KOH

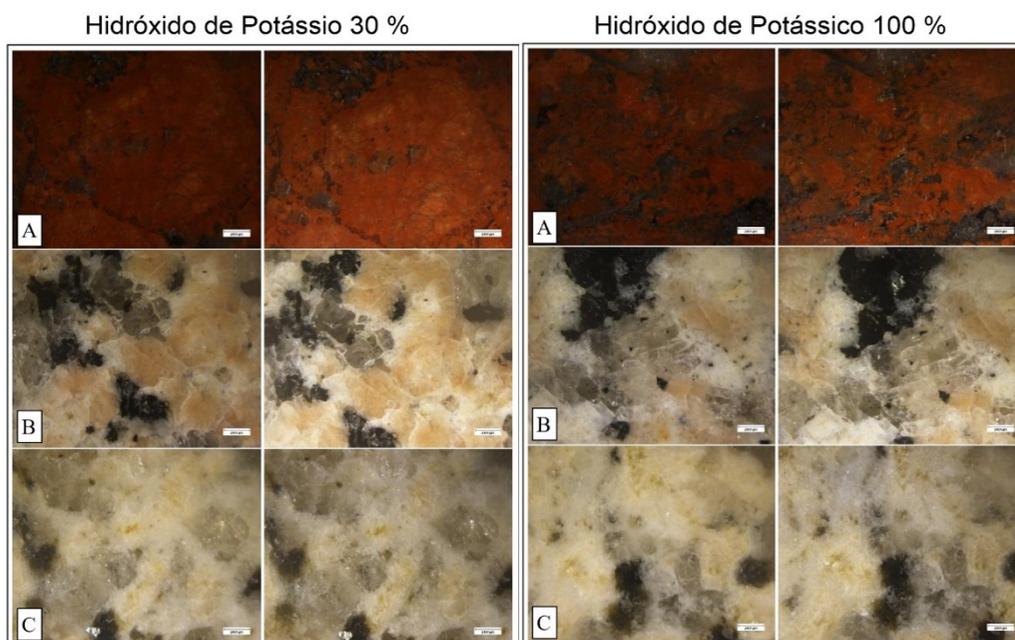
O Hidróxido de potássio, utilizados nas concentrações de 100% e 30%, conforme a norma, foi o reagente de maior impacto sobre o brilho no ensaio, chegando a causar uma perda de até 49,34% do brilho no

Red Dragon, 29,42%, no Rosa Iracema e 17,90% no Branco Ceará, em compensação o ataque não causou alteração cromática perceptível em nenhuma rocha (Figura 9).

Embora o reagente tenha sido extremamente agressivo ao brilho, por não causar alteração cromática (pelo menos não perceptível a olho nu) ou alteração mineralógica, ele pode ser considerado uma reagente menos danoso ao caráter estético das rochas testadas, em comparação a alguns reagentes demonstrados anteriormente.

O KOH é uma base forte que possui potencial corrosivo, mas apesar disso apresentou resultados menos danosos ao valor estático que outros ácidos e bases.

Figura 9: Rochas antes (esquerda) e após (direita) do ataque com Hidróxido de potássio.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Interpretação dos resultados

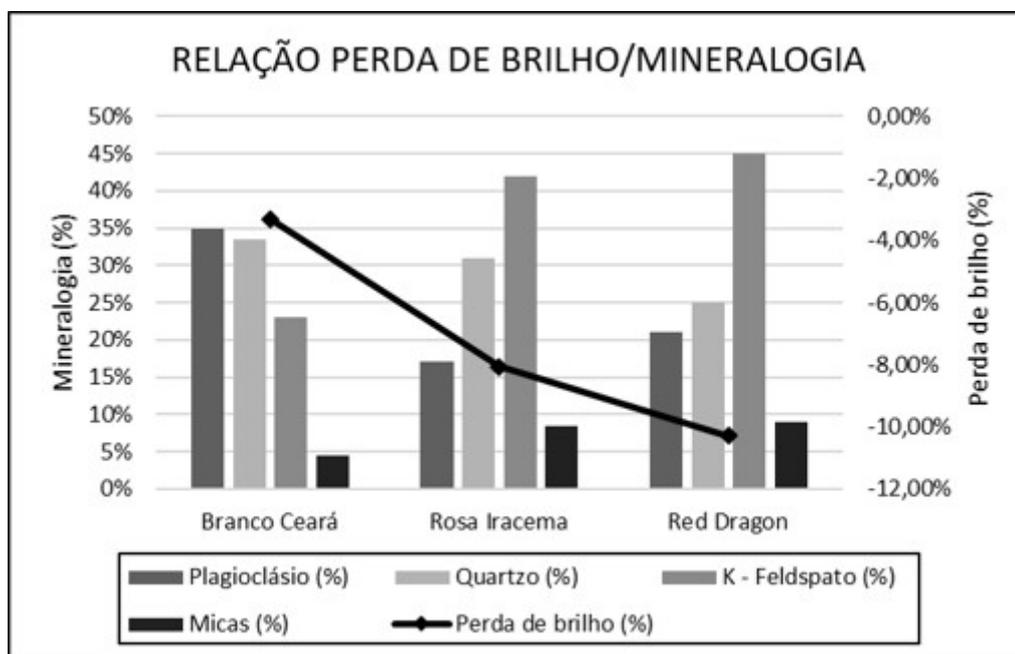
Os resultados obtidos após os ensaios comprovam a influência da mineralogia, características petrográficas e índices físicos no comportamento das rochas. As três rochas ensaiadas possuem proporções diferentes de minerais formadores, logo ao relacionar-se a mineralogia e a perda de brilho, torna-se perceptível a influência do primeiro sobre o segundo.

O quartzo é o mineral de mais elevado lustro e o mais resistente a alterações, os plagioclásios e feldspatos potássicos são mais facilmente alterados e podem ser argilitizados, e as micas, por não permitirem um “fechamento completo” devido a sua estrutura foliada e planos de clivagem, são bem mais suscetíveis a alteração (fonte). A partir dessa informação com os resultados do

trabalho, a perda de brilho após o ataque químico seguiu à risca essas premissas, como pode ser constatado na Figura 10, ou seja, à medida que a quantidade de quartzo diminui e de feldspato aumenta, a média da perda de brilho também aumenta.

Os reagentes mais danosos do ensaio foram o ácido cítrico, ácido clorídrico e hidróxido de potássio, os ácidos causam uma maior dissolução e substituição dos minerais, levando a uma maior mudança de cor e consequentemente a uma maior perda do valor estético. Já o hidróxido de potássio, embora não tenha causado mudança de cor ou substituição mineral, ocasionou dissolução e grande absorção, sendo ele o reagente que causou as maiores perdas de brilho.

Figura 10: Relação de perda de brilho. Nota-se que a barra de coloração cinza clara, representando o quartzo, quando elevada, a tendência tende a aproximar-se de zero na escala da perda de brilho, sendo alterado devido a influência elevada do feldspato potássio.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Como as rochas ensaiadas possuem mineralogia distinta, consequentemente responderam aos testes de formas e intensidades diferentes, o que mais uma vez evidencia o controle mineralógico sobre a resistência química. Com base nisto este estudo se mostrou bem representativo ao demonstrar e relacionar a resistência química de uma rocha de alta resistência (Branco Ceará), uma de resistência intermediária (Rosa Iracema) e uma com baixa resistência (Red Dragon). A ordem de resistência está associada a mineralogia, haja visto a quantidade de minerais de dureza mais elevada, como o quartzo.

Embora a intensidade dos danos sofridos pelas rochas tenha sido diferente, em geral deve-se evitar o contato prolongado delas com

substâncias contendo HCl, $C_6H_8O_7$ e KOH, e em uma visão mais específica também deve-se evitar o contato do Rosa Iracema com substâncias contendo CH_3COOH e do Red Dragon com substâncias contendo $C_3H_6O_3$.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As três rochas que passaram pelo ensaio são muito conhecidas no estado do Ceará e são amplamente utilizadas em obras de construção civil, e em vários tipos de ambientes, seja externo ou interno.

O estudo mostrou-se satisfatório na identificação de minerais que retardam ou aceleram a alteração do brilho e cor, tais como o quartzo, onde possui dureza 7 na escala de mohs, sendo fundamental para retardar as alterações patológicas, resultando em um mineral que suporta melhor os



reagentes testados, onde mostrou-se inalterado nas imagens, a biotita com dureza baixa, variando de 2 a 4 e o feldspato com dureza 6, acelerando o processo de alteração, não suportando os reagentes, acarretando a substituição por argilominerais, resultando no amarelamento e perda de brilho, dando um aspecto escasso de estética.

Com esses resultados, a importância do cuidado na escolha do material de limpeza adequado para determinados tipos de rocha é imprescindível. As rochas ornamentais possuem composições mineralógicas variadas e ocorrem em variadas fácies dentro de uma mesma rocha, sendo assim, é necessário que o arquiteto ou engenheiro que pretenda utilizá-las conheça o trato correto com a rocha, para que ela não passe de um material de alta beleza para um material com pouco valor estético devido o cuidado equivocado por falta de conhecimento.

Posto isso, as rochas estudadas mostram que a sua composição mineralógica influencia no desenvolvimento das manifestações patológicas, no qual o Branco Ceará se mostrou mais resistente devido possuir maiores teores de quartzo e menor quantidade de K-feldspato em relação as demais rochas.

Recomenda-se que em geral sejam utilizados somente produtos de limpeza de Ph neutro e que o proprietário da rocha ornamental tenha em mente que mesmo que o material natural seja resistente, certos cuidados se fazem necessários para que ela mantenha o seu valor estético, tais como cuidados em evitar o contato da

rocha com materiais degradantes como sucos, refrigerantes, vinagre, materiais de limpeza agressivos e outros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. **Alteração e alterabilidade de rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica, Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade Técnica de Lisboa, 1991.
- AZEVEDO, L. R. P. **Emanação de radônio em rochas ornamentais e para revestimento do estado do Ceará, Brasil**. 2013.
- DE AZEVEDO, L.R.P. *et al.* Caracterização petrográfica, de índices físicos e da exalação de radônio em rochas ornamentais do Estado do Ceará, Brasil. **Geociências (São Paulo)**, v. 34, n. 3, p. 423-440, 2016.
- MATTOS, I.C. *et al.* Resistência ao Ataque Químico de Granitos Ornamentais do Stock Serra do Barriga–Sobral/CE. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 124-136, 2020.
- MATTOS, I.C. *et al.* Caracterização Petrográfica e Tecnológica de Granitos Ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga, Sobral/CE. **Geociências (São Paulo)**, v. 32, n. 2, p. 247-268, 2013.
- MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F. C. Principais fatores petrográficos condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza. CETEM/SBG, 2003. p.153-164.**
- NAVARRO, F.C.; ARTUR, A.C. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. **Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife. CETEM/MCT, 2002. p.2-9.**