

ESTUDO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE GRANADA GRANITOS ORNAMENTAIS TRATADOS COM ÁCIDO

STUDY OF THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF GRANADA GRANITE ROCKS TREATED WITH ACID

¹ Marialice Gomes de Souza Freitas.

² Ana Paula Meyer.

¹Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: mary_souzaa@hotmail.com

²Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: ana.meyer@ifes.edu.br

*Autor de correspondência

Resumo: Com o intuito de atender a demanda comercial, o setor brasileiro de rochas ornamentais tem empregado novas tecnologias para diminuir os problemas ocasionados pelas modificações naturais das rochas. Dentre estes problemas, destaca-se a coloração amarelo avermelhada provocada pela oxidação de minerais ferruginosos, descaracterizando o padrão estético da rocha e comprometendo sua comercialização. Buscando contornar este problema de manchamento frequente, as empresas iniciaram a aplicação de ácidos nas superfícies rochosas para remover e prevenir o aparecimento dessas manchas ferruginosas. Entretanto, pouco se sabe sobre a influência desse tratamento nas propriedades tecnológicas das rochas. Os materiais escolhidos para esse trabalho foram duas rochas graníticas com nome comercial Branco Dallas e Branco Itaúnas, com o objetivo de analisar a resistência mecânica e química das rochas em chapas submetidas à aplicação de ácidos e não submetidas ao ácido por meio dos ensaios de desgaste abrasivo, flexão por carregamento em quatro pontos e ensaio de manchamento. Os resultados foram analisados em relação ao mesmo litotipo, com efeito de comparar e avaliar se houve alterações obtidas nos materiais do grupo sem aplicação do ácido e do grupo com ácido. Os resultados apontam para uma redução da resistência à abrasão e flexão das rochas, a qual varia conforme a composição mineralógica e o grau de microfissuras de cada material. Em relação a interação química resultante do contato dessas superfícies tratadas com os produtos utilizados no ensaio de manchamento, não houve comprometimento significativo causado devido à aplicação do ácido nas rochas estudadas.

Palavras-chave: rochas ornamentais; aplicação de ácido; comportamento tecnológico.

Abstract: In order to meet the commercial demand, the Brazilian sector of ornamental rocks has employed new technologies to reduce the problems caused by natural modifications of the rocks. Among these problems, the reddish yellow coloration caused by the oxidation of ferruginous minerals stands out, uncharacterizing the aesthetic standard of the rock and compromising its commercialization. Seeking to get around this frequent staining problem, companies have started to apply acids to the surfaces to remove and prevent the appearance of these rusty stains. However, little is known about the influence of this treatment on the technological properties of the stones. The materials chosen were two granite rocks commercially called Branco Dallas and Branco Itaúnas, with the objective of analyzing the mechanical and chemical resistance of the rocks in slabs submitted to acid application and not submitted to acid by means of abrasive wear tests, bending by four-point loading, and staining test. The results were analyzed in relation to the same lithotype, with the effect of comparing and evaluating if

there were changes obtained in the materials of the group without acid application and the group with acid. The results point to a reduction in the abrasion and flexural strength of the rocks, which varies according to the mineralogical composition and the degree of micro-cracking of each material. Regarding the chemical interaction resulting from the contact of these treated surfaces with the products used in the staining test, there was no significant impairment caused due to the application of acid.

Keywords: ornamental rocks; acid application; technological behavior.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 50 e início dos anos 60, o Brasil começou a extrair rochas com a finalidade de empregar-las como materiais ornamentais e de revestimento¹. A partir dos anos 80 e 90, o setor de rochas ornamentais teve seu crescimento no país, se tornando um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo, atingindo mais de 2,21 milhões de toneladas de rochas exportadas durante o ano de 2021 (ABIROCHAS, 2021). O início do século XXI é marcado por progressivo crescimento na produção e diversificação de materiais rochosos utilizados para fins ornamentais. A diversidade de rochas exploradas no Brasil tornou o país conhecido pela sua vasta “geodiversidade”.

A crescente demanda pelo uso das rochas ornamentais nas construções de alto padrão, desperta o setor para buscar de materiais que atendam o padrão estético imposto pelo mercado (modismo). Dessa forma, a cada ano aparecem novos materiais no mercado, destacando os quartzitos, que surgiram como uma nova categoria de material (ABIROCHAS, 2018; ABIROCHAS 2021). Assim, diante da vasta variedade de rochas, o setor brasileiro vem a cada ano empregando novas tecnologias para atender a demanda comercial. Muitas rochas que no passado poderiam não ser empregadas no setor de rochas ornamentais, seja por não

apresentarem resistência mecânica adequada ou uma estética apreciada, hoje são comercializadas por meio técnicas que a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais desenvolveu, como envelopamento de blocos que permite a serrada de rochas cada vez mais frágeis, aplicações de resinas e telas para aumentar a resistência mecânica das chapas e a aplicação de ácidos em chapas para a remoção das manchas de oxidação (CALVACANTI *et al.*, 2019).

Os materiais rochosos estão sujeitos à modificações físicas e químicas por meio das ações intempéricas que atuam nos maciços aflorantes (dilatação térmica, oxidação, hidrólise / hidratação e dissolução) (TEIXEIRA *et al.*, 2007). Dessa forma, a partir do momento que as rochas entram em contato como as condições da superfície, desencadeiam-se modificações resultantes da interação com as intemperes. Essas modificações naturais podem ocasionar mudanças na estética das rochas ornamentais. A mais notada é a coloração amarelo avermelhada oriunda da oxidação de minerais ferruginosos (principalmente minerais metálicos e/ou granadas ferruginosas).

As reações intempéricas desencadeadas naturalmente nas rochas aflorantes nos maciços rochosos, também podem ser aceleradas (reações desencadeadas de forma mais intensa) nas rochas ornamentais quando expostas em

¹ Rocha ornamental: material rochoso natural, que submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, pode ser utilizado para exercer uma função estética (ABNT, 2003); Rocha de revestimento: material rochoso natural que

submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, pode ser utilizado no acabamento de superfícies tais como pisos e fachadas, em obras de construção civil (ABNT, 2003).

fachadas e submetidas ao contato como produtos de limpeza (FRASCÁ, 2003).

No caso dos *granitos* comercializados como Branco Dallas e Branco Itaúnas, o amarelamento ocasionado pela oxidação, descaracteriza o padrão estético solicitado pelo mercado para essas rochas. Assim, a presença de oxidação nesses *granitos* resulta na rejeição dessas rochas no mercado ornamental (BARROS; RIBEIRO; SILVA, 2020). No intuito de promover a inclusão desses materiais no mercado das rochas ornamentais, a indústria de beneficiamento desenvolveu a técnica de aplicação de ácido em chapas que remove as manchas de oxidação da rocha permitindo sua comercialização.

A aplicação de ácido tem se mostrado eficaz na remoção das manchas ferruginosas, no entanto, pouco se sabe sobre o real impacto no comportamento tecnológico das rochas submetidas a esta aplicação, e como as rochas ornamentais são materiais naturais de composição química bem diversa quando comparadas a outros materiais utilizados na construção civil, como as cerâmicas e porcelanatos, o contato da rocha com substâncias ácidas pode promover reações químicas diversas, chegando até a dissolução completa, em determinados minerais.

Portanto, é de extrema relevância a avaliação do comportamento mecânico da rocha ornamental submetida a aplicação de ácidos durante o seu beneficiamento. Pois além da estética, a rocha ornamental deve apresentar parâmetros tecnológicos que viabilizem a sua aplicação segura na construção civil.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento tecnológico dos *granitos* Banco Dallas e Banco Itaúnas, ambos submetidos à aplicação de ácido durante o a produção de chapas. O trabalho irá comparar a resistência mecânica e química das rochas Banco Dallas e Banco Itaúnas em chapas submetidas à aplicação de ácidos

e não submetidas ao ácido por meio dos ensaios de desgaste abrasivo, flexão por carregamento em quatro pontos e ensaio de manchamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Embora o setor de rochas ornamentais contemple uma vasta diversidade de litotipos, comercialmente as rochas ornamentais são agrupadas em três grandes grupos: *mármore*s, *granitos* e, nos últimos anos, um dos materiais mais comercializados, os *quartzitos* (ABIROCHAS, 2022).

Essas rochas podem sofrer alterações ao longo de dois principais mecanismos: (1) nos processos naturais, relacionados ao intemperismo que atua como um mecanismo modificador nas propriedades físicas e químicas dos minerais (TEIXEIRA *et al.*, 2007); (2) nas etapas de beneficiamento e aplicações como rochas ornamentais.

A etapa de beneficiamento, onde ocorre o desdobramento de blocos por meio dos teares, tem como objetivo agregar valor e reduzir a deterioração do material (PEREIRA, 2020).

A finalidade desses processos é evidenciar as características estéticas como cor, textura e estrutura, uma vez que, esses atributos são direcionados pelas tendências de mercado e influenciam no valor comercial as rochas (FRASCÁ, 2001).

Dentre as patologias comuns que ocorrem nas superfícies rochosas, destaca-se o manchamento, que geralmente está relacionado à porosidade, permeabilidade e mineralogia da rocha (SANTOS; RIBEIRO, 2019).

A oxidação é um tipo de manchamento ocasionado pela mudança no comportamento do ferro em relação ao seu potencial de oxidação nos ambientes exógenos ou sob influência da temperatura e umidade, o qual descaracteriza o padrão estético, colocando em risco a comercialização do material (FRASCÁ;

YAMAMOTO, 2003; SANTOS; RIBEIRO, 2019).

Esse processo nas rochas se dá pela variação do estado do mineral que está presente na rocha, por exemplo, o elemento $Ferro^{2+}$, que é encontrado nos minerais ferro magnesianos e pode rapidamente se oxidar, tornando-se o $Ferro^{3+}$. Essa modificação na estrutura química do ferro, provoca mudança de estado, a qual confere tons acastanhados, vermelho, laranja e amarelo à superfície das rochas (TEIXEIRA *et al.*, 2007).

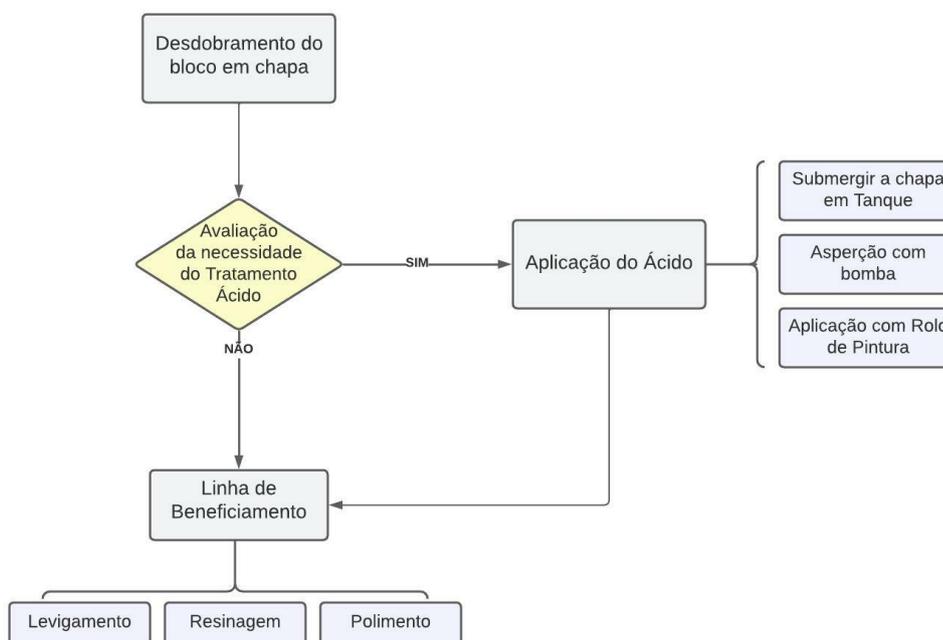
É importante destacar que as manchas que alteram as características estéticas naturais e causam a perda de valor do material, podem ser ocasionadas pela própria oxidação dos minerais ricos em ferro presentes na rocha e até mesmo pelo contato de materiais ferruginosos com a superfície do revestimento (CALVACANTI *et al.*, 2019).

2.1 Técnicas de aplicação de ácidos e rochas ornamentais:

Buscando contornar o problema de manchamentos ocasionados pela oxidação de minerais ferruginosos, a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais utiliza a aplicação de ácido na superfície de chapas de rocha ornamental com o objetivo de remover e prevenir o aparecimento das manchas de oxidação (Figura 1).

As diferentes formas de aplicação de ácidos em chapas que a Figura 1 ilustra foram elencadas após consulta às empresas do polo de beneficiamento instalado no município de Cachoeiro de Itapemirim- ES. As diferentes técnicas relatadas variam de acordo com as demandas comerciais e de logística de cada empresa e dos materiais rochosos que trabalham.

Figura 1: Fluxograma que ilustra a linha de beneficiamento das rochas ornamentais submetidas à aplicação de ácido.



Fonte: Autor, 2022

Os diferentes tipos de técnicas de aplicação foram agrupados no trabalho de Barbosa e Silveira (2021), da seguinte maneira:

- **Imersão total:** consiste na inserção de pacotes de chapas em um tanque contendo o respectivo ácido utilizado, no qual a rocha ficará submersa por um

período de 24 à 36 horas e, em seguida, será retirada e colocada para secar.

- Aplicação do ácido por aspersão: consiste em posicionar as chapas em um cavalete-pente central e aspergir o produto de maneira uniforme com auxílio de uma bomba ligada a um irrigador. Após esse processo, as chapas permanecerão por 24 à 36 horas para secar.
- Aplicação do ácido com rolo: consiste em posicionar a chapa deitada sob uma superfície e aplicar o ácido com um rolo de espuma poliéster. Após o término, a chapa é retirada do local com auxílio da ventosa e posicionada em uma bancada para secar por 24 à 36 horas (Figura 2).

Figura 2 – Aplicação do ácido em chapas de rocha ornamental com rolo de pintura.



Fonte: Autor, 2022.

Segundo Barros, Ribeiro e Silva (2020), algumas características, referenciadas no Quadro 1, são importantes para se avaliar a eficiência dos ácidos em remover manchas ferruginosas das superfícies rochosas.

Dentre alguns estudos sobre a utilização do ácido em rochas destaca-se o trabalho de Santos e Ribeiro (2019) que utilizaram diferentes concentrações de ácido oxálico em quartzitos com a finalidade de remover as manchas ferruginosas presentes. Além disso, realizaram também ensaios em câmeras de

intemperismo acelerado para verificar se as manchas retornariam pela ação intempérica. Como resultado, foi verificado que o ácido se mostrou eficaz tanto na remoção de manchas causadas pela oxidação do ferro quanto ao reaparecimento das manchas no material.

Quadro 1: Características dos ácidos que os tornam eficientes na remoção das manchas.

Características dos Ácidos	
Nº de mol por grama	Valores altos do nº de mol indicam ácidos mais eficientes.
Nº de H ionizáveis	Quanto maior a quantidade de H ionizável, mais eficiente o ácido é.
Nº de OH não-ácido	Quanto maior o nº de OH não-ácido, melhor para remover as manchas.
Ka 1	Quanto maior os valores de Ka (constante de acidez), maior a força do ácido
Concentração Nominal de Hidrogênio (mol/L).	Quanto maior, mais eficiente o ácido é.
pH	Menores valores de pH indicam maiores ionizações dos ácidos.

Fonte: Adaptado de Barros, Ribeiro e Silva, 2020.

Em outro estudo, Cavalcanti *et al.* (2019), apresenta os resultados obtidos sobre a viabilidade do ácido cítrico em remover manchas ferruginosas nas rochas ornamentais Branco Ceará, Rosa Iracema e Verde Light expostas ao contato com a palha de aço umedecida com detergente. Como resultado, apesar de ocorrer a total remoção das manchas de ferrugem, em alguns cristais de feldspato e plagioclásio houve o aparecimento de manchas amareladas.

Com exceção do trabalho de Cavalcanti *et al.* (2019), trabalhos que relacionam o comportamento tecnológico de rochas ornamentais submetidas à

aplicação com ácido são inexistentes na literatura.

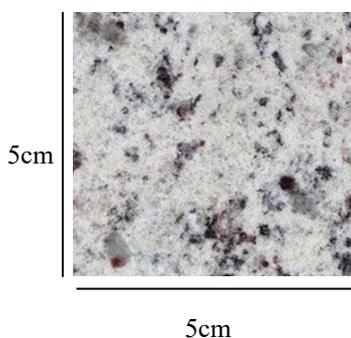
A escassez desses estudos pode estar relacionada à dificuldade de obtenção de amostras para estudo; ao distanciamento entre empresas e instituições de pesquisa; e ao sigilo de informações técnicas que as empresas mantêm, esta observada durante a pesquisa realizada. Percebe-se que a técnica de aplicação de ácidos nas chapas de rochas ornamentais não é padronizada entre as empresas que as realizam e que as substâncias ácidas envolvidas no processo não são divulgadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais escolhidos para esse trabalho estão descritos no Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais do Espírito Santo 2013. As informações de caracterização petrográfica estão descritas abaixo:

Branco Dallas: Granito com granulação média a grossa composta por microclima pertílica a mesopertílica (30%), quartzo (15%); plagioclásio (5%); granada (5%); biotita (<5%) e traços de silimnatita, titanita, zircão e sericita.

Figura 3: Amostra de Branco Dallas.

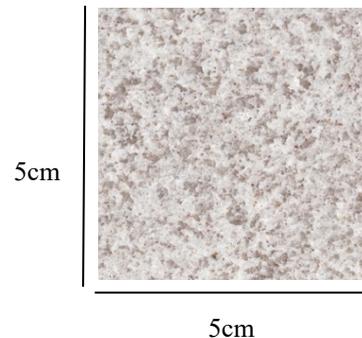


Fonte: Google Imagens, 2022.

Branco Itaúnas: Granito com granulação fina a média composta por feldspato potássico cripto a micropertítico

(40%), quartzo (30%), plagioclásio (oligocrásio) (25-30%), granada (5%), traços acessórios: biotita, opaco, zircão.

Figura 4: Amostra de Branco Itaúnas.



Fonte: Google Imagens, 2022.

O trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de dois litotipos de rochas graníticas comparando o comportamento mecânico dentro de cada litotipo.

As amostras de cada litotipo foram subdivididas em: grupo de controle, que não recebeu nenhuma aplicação de ácido e grupo de tratamento, no qual as rochas foram expostas ao ácido industrialmente utilizado para remoção da oxidação. As empresas que forneceram as amostras solicitaram o anonimato e a fabricante do ácido não forneceu a composição química do produto.

A forma de aplicação do ácido pela empresa que forneceu a amostra de Branco Itaúnas consiste na aspersão do ácido com bomba de forma uniforme por toda chapa e o tempo de cura de 24 horas.

Já na empresa que forneceu a amostra de Branco Dallas, aplica-se o ácido com o rolo de poliéster por toda a chapa de forma uniforme e espera-se 24 horas para secar totalmente.

Para o grupo de controle, nos ensaios de manchamento e desgaste amsler, foram utilizadas amostras brutas, que foram apenas polidas e cortadas nas dimensões de cada ensaio. Já para o ensaio de flexão por carregamento em quatro pontos, as amostras do grupo de controle do material

Branco Itaúnas, foram retiradas de casqueiro, com acabamento bruto e com espessura levemente irregular, conforme demonstrado pela Figura 5B. Essa particularidade das amostras de Branco Itaúnas, se deve ao fato desse material ser fortemente afetado pela oxidação, sendo assim, as empresas realizam a aplicação do ácido em todas as chapas antes de entrarem na linha de beneficiamento, impossibilitando a obtenção de amostras polidas sem a aplicação do ácido.

Após a identificação e preparação das amostras, foram realizados os ensaios propostos.

Os ensaios de caracterização tecnológica realizados em ambos os grupos foram: desgaste por abrasão (ABNT NBR 12042: 2012); resistência a flexão por carregamento em quatro pontos (ABNT NBR 15845-7:2015); e ensaio de manchamento (ABNT NBR 13818 – anexo G – adaptada da norma para cerâmica. Para

o ensaio de manchamento, foram escolhidos dois agentes manchantes: Suco de limão e o Cloro Ativo. Os agentes propostos foram escolhidos com base na composição química e frequência no uso cotidiano, sendo o suco de limão, um ácido fraco, e o cloro ativo, um sal de pH alcalino muito utilizado como desinfetante.

Junto ao ensaio de manchamento, mediu-se o brilho das amostras antes e depois do ataque com os agentes manchantes para verificar a variação de brilho. Para essa medição utilizou-se o equipamento Gloss Meter. Este medidor de brilho direciona um feixe de luz e quantifica a luz refletida pelas superfícies. O método pelo qual a refletância é medida e o ângulo da luz são determinados pela superfície analisada (RHOPOINT INSTRUMENTS). Em ambos os grupos analisados, o ângulo de referência utilizado foi de 60 GU.

A distribuição das amostras para cada ensaio está descrita na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de amostras utilizadas nos ensaios.

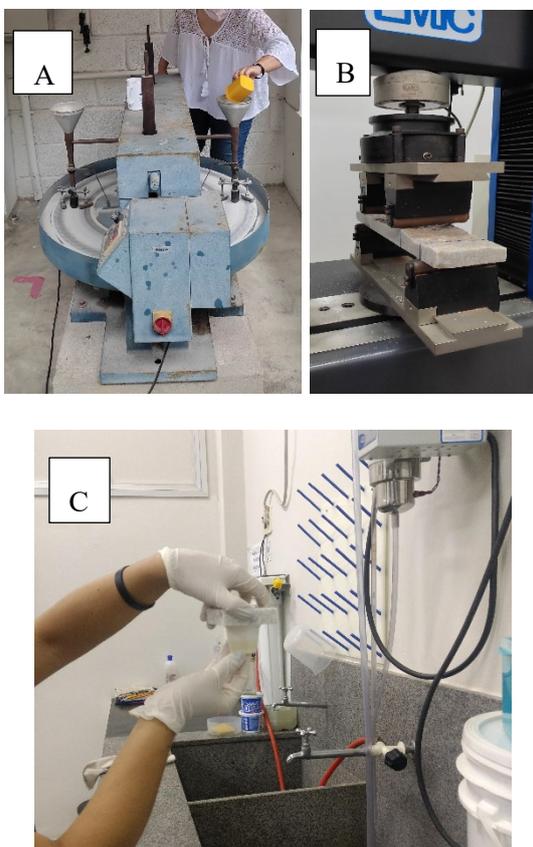
Ensaio	LITOTIPOS				Total
	Branco Dallas		Branco Itaúnas		
	C/ ácido	S/ ácido	C/ ácido	S/ ácido	
Flexão 4 pontos	10	10	10	10	40
Desgaste Abrasivo	2	2	2	2	8
Manchamento	Limão	1	1	1	8
	Cloro	1	1	1	

Fonte: Autor, 2022.

Como material de apoio, foi utilizado também o Livro de Caracterização Tecnológica de Rochas – Práticas Laboratoriais. Todos os ensaios de caracterização tecnológica realizados nas amostras estudadas foram elaborados no Laboratório de caracterização tecnológica do Ifes – *Campus Cachoeiro*.

Em seguida, os resultados foram analisados em relação ao mesmo litotipo, com efeito de comparar e avaliar se houve alterações obtidas nos materiais do grupo de controle, sem aplicação do ácido e no grupo com aplicação do ácido.

Figura 5: Ensaio de desgaste por abrasão (A), ensaio de flexão quatro pontos (B) e ensaio de manchamento (C) realizados no laboratório do Ifes -*Campus Cachoeiro*.



Fonte: Autor, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados consistem nos valores de resistência ao desgaste abrasivo, flexão 4 pontos e manchamento realizados em amostras de dois tipos de rochas ornamentais: Branco Dallas e Branco Itaúnas. Para cada tipo de rocha ornamental foram executados dois conjuntos de corpos de prova, um conjunto de amostras sem aplicação com ácido e outro conjunto de amostras submetidas à aplicação de ácido. Para a discussão dos resultados foram elaborados gráficos de barras comparando os diferentes conjuntos de amostras para cada tipo de rocha ornamental estudada.

4.1 RESISTÊNCIA AO DEGASTE ABRASIVO

O ensaio de resistência ao desgaste abrasivo foi realizado conforme a norma ABNT NBR 12042/2012. Os resultados obtidos no ensaio estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados médios de desgaste Abrasivo e desvio padrão para os materiais estudados.

Índice do Desgaste Abrasivo			
Material	Tipo de Aplicação	Total de Desgaste Abrasivo (mm)	Desvio Padrão (mm)
BRANCO DALLAS	Com ácido	1,08	0,04
BRANCO DALLAS	Sem ácido	1,03	0,15
BRANCO ITAÚNAS	Com ácido	1,20	0,05
BRANCO ITAÚNAS	Sem ácido	0,96	0,02

Fonte: Autor, 2022.

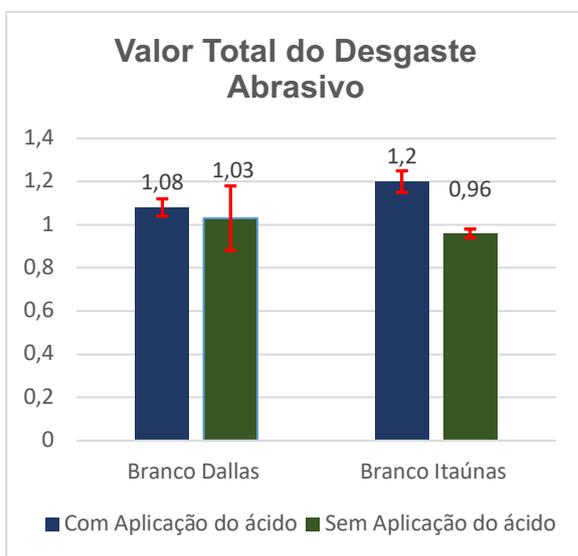
Com relação ao desgaste abrasivo, os dois conjuntos de amostras submetidas ao ácido, tanto amostras da rocha ornamental Branco Dallas como o Branco Itaúnas apresentaram maiores valores de desgaste abrasivo, quando comparados ao conjunto de amostras não submetidas ao ácido (conforme ilustra o Gráfico 1). Contudo, o maior decréscimo de resistência foi notado nas amostras de Branco Itaúnas (1,20 mm em amostras submetidas à aplicação de ácido para 0,96 mm em amostras sem aplicação de ácido).

Embora os materiais possuam semelhanças em suas composições mineralógicas, o material Branco Itaúnas possui maior percentual de quartzo quando comparado ao material Branco Dallas. Essa diferença de percentual pode conferir ao mesmo maior resistência a abrasão, uma vez que o quartzo possui dureza 7 na escala

Mohs². Ainda assim, os cristais são pequenos e distribuídos por toda a superfície do material. Porém, no material Branco Dallas, os minerais são mais desenvolvidos, atribuindo à rocha uma textura grossa, permitindo que a área de contato do quartzo seja maior, conferindo a rocha uma textura grossa, favorecendo o menor desgaste por abrasão (PAZETO; ARTUR, 2015).

Comparando os valores de desgaste abrasivo com os valores de referências da ABNT NBR 15844/2010 (≤ 1 mm), verificou-se que apenas o conjunto de amostras de Branco Itaúnas, sem aplicação do ácido, apresentou valores que o qualificam para ser utilizado em locais de alto tráfego. Sendo assim, as demais amostras dos materiais estudados apresentaram valores que os desqualificam para serem empregados nesses locais.

Gráfico 1: Resultados do Ensaio de Desgaste Abrasivo nos litotipos estudados.



Fonte: Autor, 2022.

4.2 FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM QUATRO PONTOS

Conforme descrito na ABNT NBR 15845-7/2015, o ensaio de flexão por carregamento em quatro pontos deve ser realizado a seco e saturado. Sendo assim, as amostras avaliadas a seco foram submetidas a estufa por 48 horas a temperatura de 70°. Já as saturadas foram submersas em água por 48 horas conforme a metodologia da ABNT.

Os resultados das porcentagens da resistência entre os grupos estudados serão apresentados utilizando o grupo com aplicação do ácido como referência (100%). Isso porque as amostras que receberam a aplicação do ácido são as que representam as rochas que são comercializadas atualmente. Assim, o cálculo busca quantificar qual é o aumento e/ou perda de resistência que essas rochas sofrem após esse tipo de procedimento e quais seriam os reais valores de resistência mecânica caso esse procedimento não alterasse o produto final.

4.2.1 Resultados do Ensaio de Flexão por Carregamento em quatro pontos a seco.

Os resultados médios obtidos no ensaio de flexão em quatro pontos a seco em cada litotipo estudado estão apresentados na Tabela 3.

As amostras de Branco Itaúnas com aplicação do ácido ensaiadas a seco apresentaram uma resistência a tensão média de 7,60 MPa. No conjunto de amostras não submetidas ao ácido, a resistência a tensão média suportada foi de 5,70 MPa. As amostras de Branco Dallas com ácido apresentaram uma resistência a tensão média de 7,53 MPa e as amostras sem aplicação do ácido suportaram uma tensão média de 11,04 MPa, como demonstrado no Gráfico 2.

² Escala de Mohs quantifica a dureza dos minerais, isto é, a resistência que um determinado mineral

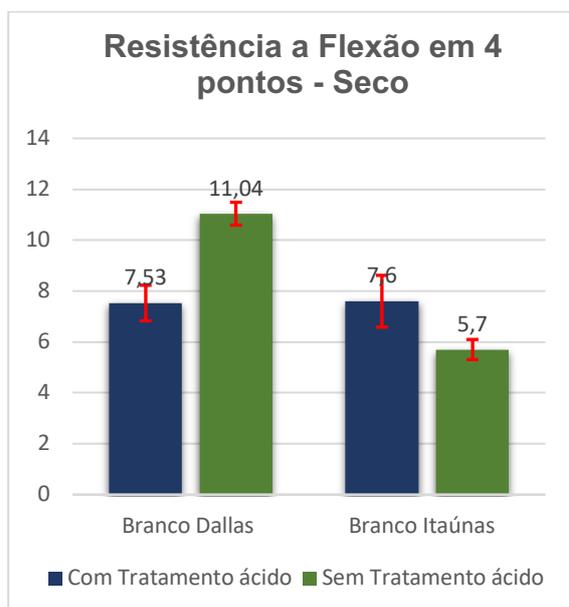
oferece ao risco, classificados de 1 a 10 (SOLANS; DOMENECH, 1978).

Tabela 3: Resultados do ensaio de Flexão em 4 pontos a seco.

Material	BRANCO DALLAS		BRANCO ITAÚNAS	
	Com ácido	Sem ácido	Com ácido	Sem ácido
Tensão de Ruptura (Mpa)	7,53	11,04	7,6	5,7
% da Resistência (entre os grupos)	100%	146%	100%	75%

Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 2: Resultados do Ensaio de Resistência a Flexão em quatro pontos a seco.



Fonte: Autor, 2022.

Os valores obtidos no ensaio de flexão a seco, demonstraram queda de resistência a flexão nas rochas com aplicação do ácido apenas no granito Branco Dallas. As amostras de Branco Dallas sem aplicação de ácido se mostraram 46% mais resistente quando comparado com a amostra da mesma rocha com aplicação do ácido. O que não foi observado nas amostras estudadas de Branco Itáuñas,

já que o material Branco Itáuñas sem ácido apresentou ser 25% menos resistente quando comparado ao mesmo material com aplicação do ácido. Cabe destacar que os corpos de prova de granito Branco Itáuñas sem aplicação de ácido utilizados para o estudo da resistência, foram obtidos por meio de amostras de casqueiro (sobra da serrada de blocos no tear), diferentemente das amostras do Branco Itáuñas com aplicação de ácido, as quais foram obtidas de chapas possibilitando amostras com a superfície plana. Essa diferença na uniformidade das amostras pode ser apontada como o principal fator de influência na distribuição da tensão nas amostras, o que pode ter provocado rompimento antecipado nas amostras de Branco Itáuñas sem aplicação do ácido.

Segundo o Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais Do Espírito Santo, o valor de referência para o ensaio de flexão a seco e saturado do material Branco Itáuñas é de 9,38 MPa. Esse manual foi confeccionado em um período que não era realizada a aplicação de ácido nas rochas. Desse modo, esse valor de referência confirma que o resultado das amostras durante esse ensaio foi inferior ao esperado para as amostras sem ácido desse material.

4.2.2 Resultados do ensaio de flexão por carregamento em quatro pontos saturado.

Os resultados obtidos no ensaio de flexão em quatro pontos saturado nas amostras estudadas estão descritos na Tabela 4.

As amostras de Branco Itáuñas com ácido apresentaram uma resistência a tensão média de 6,73 MPa. Já as amostras sem a aplicação do ácido apresentaram uma média de resistência na ordem de 5,31 MPa de tensão.

Tabela 4: Resultados do ensaio de Flexão em 4 pontos saturado.

Material	BRANCO DALLAS		BRANCO ITAÚNAS	
	Com ácido	Sem ácido	Com ácido	Sem ácido
Tensão de Ruptura (Mpa)	7,07	9,17	6,73	5,31
% da Resistência (entre os tipos de aplicação)	100%	129,7%	100%	78,9%

Fonte: Autor, 2022.

As amostras de Branco Dallas com ácido obtiveram uma resistência a tensão média de 7,07 MPa. No grupo que não recebeu aplicação do ácido, a resistência média de tensão foi de 9,17 MPa.

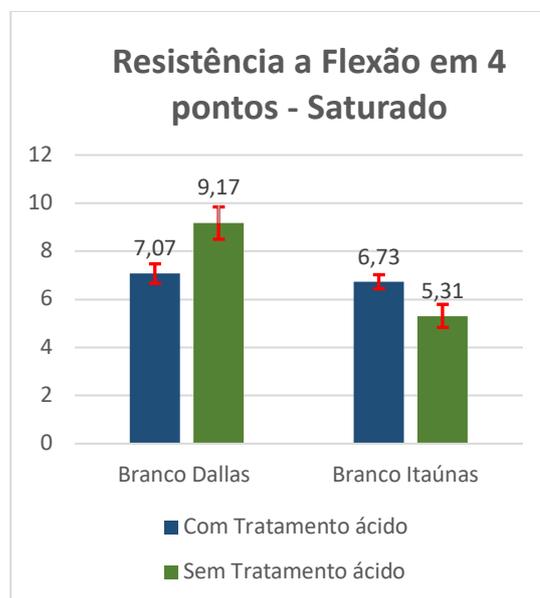
Dessa forma, as amostras de Branco Itaúnas saturadas que passaram pela etapa de aplicação do ácido desempenham maior resistência á flexão em 21,09%, quando comparadas com as amostras do grupo sem aplicação de ácido. Já nas amostras de Branco Dallas saturadas, o grupo sem aplicação do ácido apresentou ser 29,7% mais resistente a flexão quando comparado ao grupo de aplicação do ácido.

Neste caso, como já mencionado, os corpos de prova do granito Branco Itaúnas para o ensaio de flexão saturado, também foram confeccionados a partir de amostras de casqueiro, o que pode ter influenciado na distribuição das forças e provocado o rompimento antecipado da amostra.

Ainda nesse contexto, o resultado obtido no ensaio é bem abaixo do valor de referência do Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais do Espírito Santo para esse material, que é de 9,38 MPa, o que indica que os corpos de prova obtidos de casqueiro podem ter influenciado nos resultados.

Segundo a ABNT NBR 15844/2010, os requisitos mínimos específicos dos granitos para o ensaio de flexão em quatro pontos é de 8 MPa, tanto a seco, como também saturado. Dessa forma, apenas as amostras de Branco Dallas sem aplicação do ácido obtiveram resultados aceitáveis para serem utilizadas como revestimento.

Gráfico 3: Resultados do Ensaio de Resistência a Flexão em quatro pontos saturado.



Fonte: Autor, 2022.

4.3 ENSAIO DE MANCHAMENTO

O ensaio de manchamento realizado nas amostras estudadas se fundamenta em uma adaptação da norma para cerâmica (ABNT NBR 13818 – anexo G). Dessa forma, foram utilizados os seguintes agentes manchantes: suco de limão e Cloro Ativo. O tempo de ataque na superfície dos materiais foi de 24 horas.

O Quadro 2 relaciona a composição de cada um desses agentes.

Os resultados apresentados para as amostras estudadas foram avaliados comparando o comportamento de cada material em contato com os agentes propostos após as três etapas de limpeza

conforme recomendação da norma (ABNT NBR 13818 – anexo G) adaptada para granitos ornamentais e o livro de Caracterização tecnológica de rochas ornamentais: práticas laboratoriais (CASTILHO, 2018). Além da observação de mudanças visuais na superfície das amostras submetidas ao ensaio de manchamento, foram medidos o brilho da superfície antes e após ao ataque das substâncias manchantes para as amostras polidas.

Quadro 2: Composição dos Agentes Manchantes utilizados.

Agentes Manchantes	
Suco de Limão	100% suco da fruta.
Cloro Ativo	Hipoclorito de sódio – teor 2,5%, coadjuvante, alcalinizante, fragrância e água.

Fonte: Super Globo, 2022.

A seguir serão apresentados os resultados de manchamento obtidos para os granitos Branco Dallas e Branco Itaúnas, comparando dois conjuntos de amostras um submetido à aplicação de ácido no beneficiamento das chapas e outro conjunto de amostras sem aplicação de ácido.

4.3.1 Branco Dallas

-Ensaio de Manchamento com Suco de Limão

A amostra de Branco Dallas que passou pela aplicação do ácido (Figura 6 na prancha 1) não teve a superfície manchada pelo suco de limão e por isso não precisou passar pelas etapas de limpeza. Destaca-se que, nas amostras de Branco Dallas submetidas à aplicação de ácido que tiveram contato com o suco de limão,

notou-se aumento de 17,27% do brilho após o ataque com o suco de limão.

Esse aumento de brilho pode estar associado ao fato de que o agente manchante provoca uma profunda limpeza na superfície atacada, tornando-a mais reflexiva e fazendo com que o brilho medido após o ensaio seja maior, no entanto, mais estudos são necessários para entender como se dá esse fato.

A amostra de Branco Dallas não submetida à aplicação de ácido (Figura 7 na prancha 1) teve a superfície corroída pelo limão, o que não pôde ser removido após as três etapas de limpeza. Em relação ao brilho, o acabamento dessa amostra não possuía polimento da superfície, estando ainda com acabamento bruto e, em razão disso não foi possível medir o brilho. O fato da amostra não ser polida pode também ter contribuído para o aspecto de corrosão dos minerais após o contato com o limão.

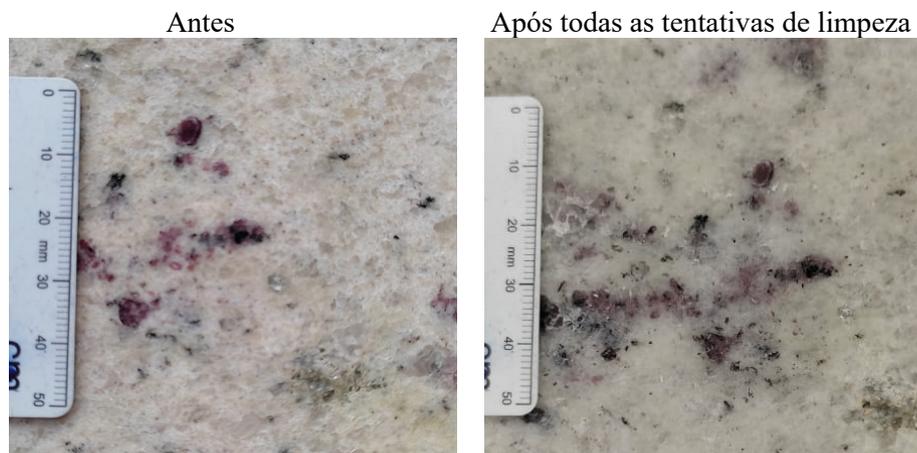
- Ensaio de manchamento com Cloro

A amostra de Branco Dallas submetida ao ácido (Figura 8 na prancha 1) foi atacada com o cloro ativo e teve sua superfície desbotada, não sendo possível remover após todas as etapas de limpeza. Com relação ao brilho, essa amostra perdeu 14,69% de brilho após contato com cloro e posterior a última etapa de limpeza a perda total de brilho foi de 26,26%. Com isso nota-se que as etapas de limpeza proposta na norma contribuíram para a perda de brilho da amostra.

A amostra de granito Branco Dallas não submetida a aplicação de ácido (Figura 9 na prancha 1) teve a mancha produzida com o cloro removida após a 1^o etapa de limpeza com água quente. Não foi possível medir a variação do brilho nesta amostra devido a superfície sem polimento na mesma.

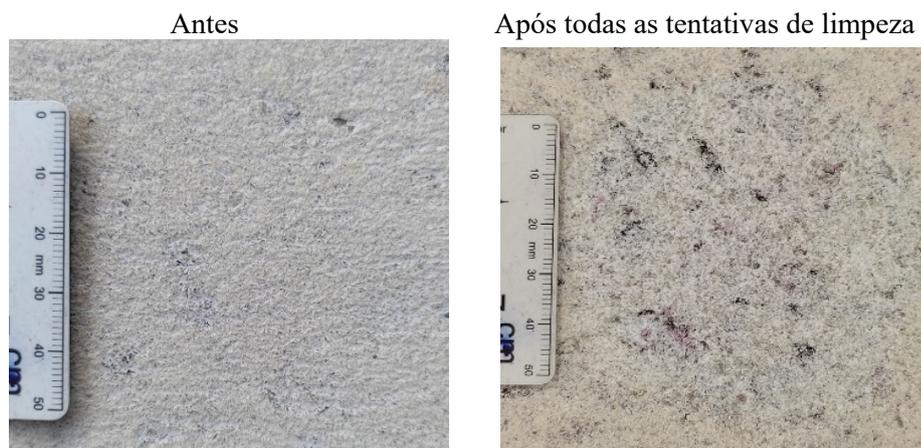
Prancha 1: Imagens do material Branco Dallahs antes e após o ensaio de Manchamento.

Figura 06: Ensaio de Manchamento com Suco de Limão no Material Branco Dallahs com aplicação do ácido



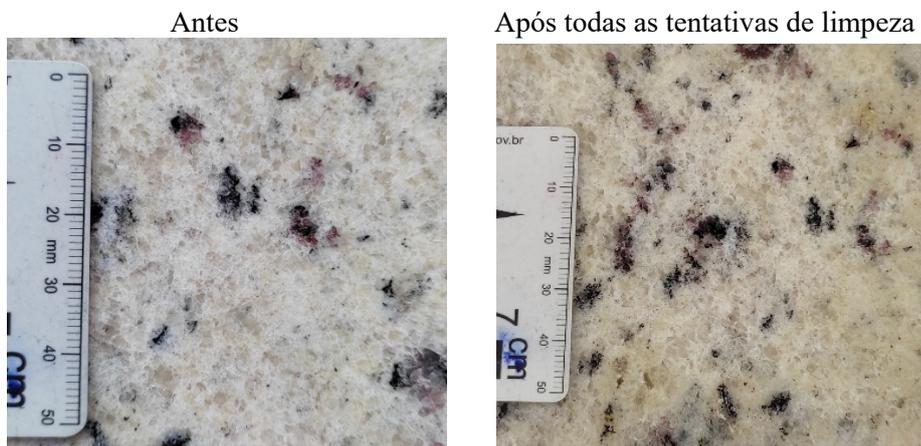
Fonte: Autor, 2022.

Figura 07: Ensaio de Manchamento com Suco de Limão no Material Branco Dallahs sem aplicação do ácido.



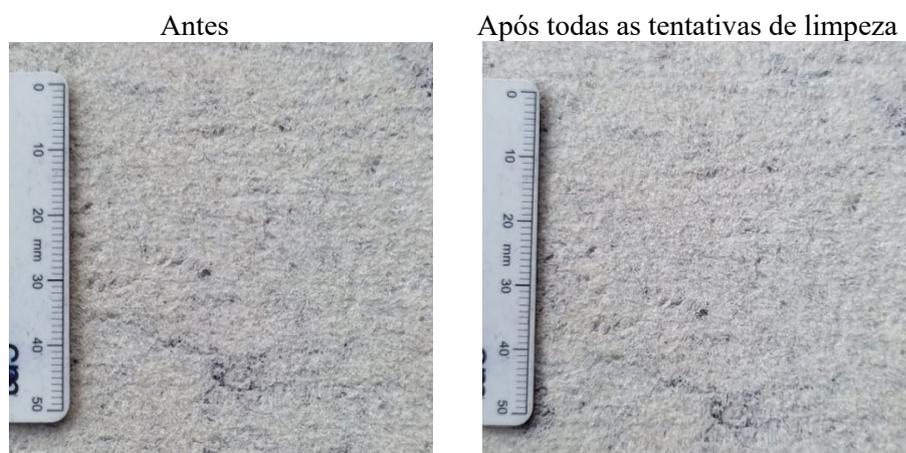
Fonte: Autor, 2022.

Figura 08: Ensaio de manchamento com Cloro no Material Branco Dallahs com aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 09: Ensaio de manchamento com Cloro no Material Branco Dallas sem aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022.

4.3.2 Branco Itaúnas

- Ensaio de manchamento com Limão

No granito Branco Itaúnas, tanto a amostra que recebeu aplicação do ácido (Figura 10 na prancha 2), como na que não foi submetida à aplicação do ácido (Figura 11 na prancha 2), ambas foram manchadas quando em contato com o agente, sendo que na amostra sem aplicação de ácido ocorreu o amarelamento da superfície. A medição de brilho foi possível apenas na amostra com aplicação de ácido por apresentar superfície polida. A perda de brilho para esta amostra foi de 10,33 % de brilho.

- Ensaio de manchamento com Cloro

O uso do cloro ativo provocou o desbotamento e amarelamento da superfície na amostra com aplicação do ácido (Figura 12 na prancha 2) e uma leve corrosão na superfície da amostra não submetida ao ácido (Figura 13 na prancha 2). Dessa

forma, essas manchas não foram removidas mesmo após as três etapas de limpeza em ambas amostras do Branco Itaúnas. A amostra que passou pela aplicação do ácido teve aumento do brilho em 4,92% após finalizar todas as etapas de limpeza. Já na amostra não submetida ao ácido não foi possível medir o brilho por se tratar de uma amostra com acabamento bruto.

Em geral tanto as amostras que passaram pela aplicação do ácido quanto as amostras não receberam esse tipo de tratamento durante o beneficiamento, apresentaram desempenho semelhantes, totalizando 75% das amostras manchadas permanentemente. Em contato com a superfície rochosa, esses agentes proporcionaram em alguns casos, o aspecto amarelado da área de contato, a corrosão dos minerais presentes e o desbotamento da superfície manchada.

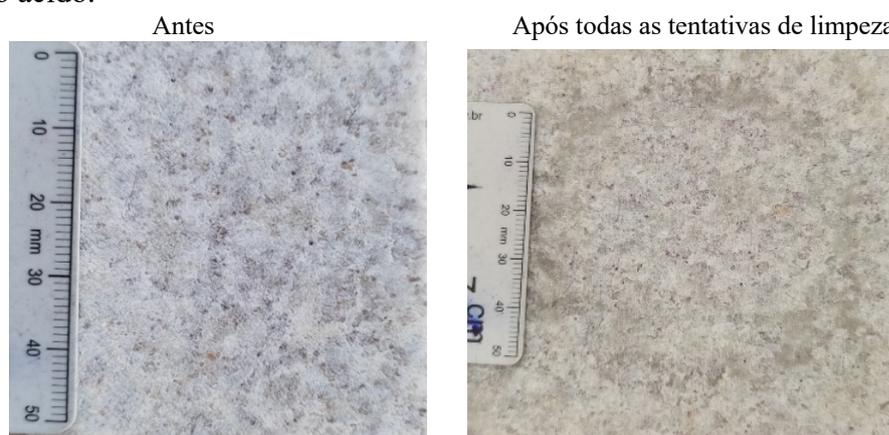
Prancha 2: Imagens do material Branco Itaúnas antes e após o ensaio de Manchamento.

Figura 10: Ensaio de Manchamento com Suco de Limão no Material Branco Itaúnas com aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 11: Ensaio de Manchamento com Suco de Limão no Material Branco Itaúnas sem aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 12: Ensaio de Manchamento com Cloro no Material Branco Itaúnas com aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 13: Ensaio de Manchamento com Cloro no Material Branco Itaúnas sem aplicação do ácido.



Fonte: Autor, 2022

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de resistência ao desgaste abrasivo, os maiores valores de desgaste foram observados nas amostras de granito Banco Dallas e Branco Itaúnas submetidas à aplicação de ácido. Dessa forma, os dados mostram que quando aplicado o ácido, há redução da resistência a abrasão. A dificuldade de obter amostras para realizar ensaios é evidente no setor de rochas ornamentais. Ao entrar na linha de beneficiamento, o ácido é aplicado em todas as chapas, o que dificulta adquirir amostras que não tenham passado por esse processo. Dessa forma, as amostras obtidas para o ensaio de flexão foram fornecidas por duas empresas diferentes. Para o Branco Dallas, as amostras sem aplicação do ácido foram retiradas de uma chapa e as amostras do Branco Itaúnas sem aplicação do ácido foram retiradas de casqueiro.

Nesse contexto, com relação ao ensaio de resistência a flexão por carregamento em quatro pontos, tanto as amostras ensaiadas a seco, quanto as saturadas do material Branco Dallas sem aplicação do ácido, apresentaram ser mais resistentes à flexão, indicando que, nesses litotipos, a aplicação do ácido reduziu a resistência a flexão das rochas. Essa redução de resistência pode ter ocorrido devido a remoção do ferro oxidado da

estrutura da rocha pela ação do tratamento com ácido.

Por outro lado, no ensaio de resistência a flexão por carregamento em quatro pontos do material Branco Itaúnas, tanto no ensaio a seco, quanto no saturado, o grupo sem aplicação do ácido apresentou menor resistência à flexão. Esse resultado pode ter sido fortemente influenciado pela irregularidade da espessura dos corpos de prova provenientes de casqueiro, que influencia na distribuição uniforme da força aplicada e pode ter provocar o rompimento antecipado da amostra.

Quanto ao ensaio de manchamento, o comportamento das amostras de Branco Dallas em ambos os grupos foram similares, resultando em duas amostras manchadas permanentemente, a primeira sem aplicação do ácido atacada pelo agente suco de limão e a segunda amostra com aplicação do ácido atacada com cloro ativo. No material Branco Itaúnas, tanto as amostras com aplicação do ácido quanto as amostras sem ácido, permaneceram manchadas pelos agentes limão e cloro ativo.

Em relação a interação química resultante do contato dessas superfícies tratadas com os produtos utilizados no ensaio de manchamento, conforme visualizado através da análise macroscópica, não houve comprometimento significativo causado

devido a aplicação do ácido nas rochas estudadas. Em vista disso, recomenda-se a realização de estudos futuros que aprofundem sobre as interações microscópicas na mineralogia dos materiais tratados com ácido.

A inclusão da etapa de aplicação do ácido na linha de beneficiamento para remoção das manchas ferruginosas das superfícies rochosas apresenta pouco critério técnico, embora seja inegável sua eficácia. Ainda assim, as consequências desse recurso nas propriedades mecânicas e químicas das rochas dependerá dos minerais presentes em cada material.

Portanto conclui-se que esse tipo de tratamento influencia nas propriedades dos materiais e pode provocar perda de resistência mecânica em determinados casos.

Como apontado no estudo de Pazeto e Artur (2015), há uma correlação direta entre o grau de microfissuramento de cada material, a porosidade e a capacidade de absorção. Os estudos de Meyer *et al.*, (2014) e Meyer, Navarro e Artur (2003), também apontam para um correlação diretamente proporcional para a textura das rochas graníticas e seu respectivo grau de absorção. Sendo assim, rochas com texturas mais finas tendem a ter menores valores de absorção e rochas com texturas mais grossas a apresentar valores maiores de absorção.

Assim, as características mineralógicas das rochas graníticas foram determinantes na quantidade de ácido que penetrou na superfície da rocha e, como resultado, a alteração da resistência mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFES pela infraestrutura, aos técnicos do laboratório de Rochas Ornamentais pela disponibilidade em contribuir para este artigo.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2020**. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/balancos-nova>> Acesso em 01 de março de 2022.

ALENCAR, C. R. A. INSTITUTO EUVALDO LODI. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais** / Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2003). ABNT NBR 15012. **Rochas para Revestimentos de Edificações – Terminologia**, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Rochas para revestimento – Requisitos para granitos**. NBR 15844. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. NBR 15844. Rio de Janeiro, 2010. NBR 12042. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resistencia a flexão por carregamento em quatro pontos**. NBR 15845. Rio de Janeiro, 2015.

BARBOSA, I. C; SILVEIRA, L.L.L. **Análise crítica dos principais métodos de tratamento superficial atualmente utilizado no setor de Rochas**

- Ornamentais.** Revista Geociências, São Paulo - UNESP, v.40, n° 3, p. 811 - 821, 2021. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14674/12197>>. Acesso em 02 de junho de 2022.
- BARROS, M. E. M.; RIBEIRO, R. C. C.; SILVA, L. A. Remoção de manchas ferruginosas em rochas ornamentais = Ferruginous stain removal in ornamental stones. In: **Anais da Jornada de Iniciação Científica**, 2020. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020. p.131-135. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2360>>. Acesso em: 11 de Janeiro de 2022.
- CASTILHO, E.D.F. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais: práticas laboratoriais.** – Vitória, ES: Edifes, 2018.
- CALVALCANTI, S. G. F.; CORRÊA, A. E. O.; LEITE, L. H. J.; MATTOS, I. C. Viabilidade do Ácido Cítrico como solução para remoção de ferrugem em placas polidas de Granitos do Ceará. In: Livro de **Resumos do X Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. Castro – Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019. p.122. TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M.C.M; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. 2° Edição. Companhia Editora Nacional, 09 de maio de 2007.
- LIMPADOR CLORO ATIVO. Super Globo, 2022. Disponível em: <<https://superglobo.com.br/multiuso-cloro-ativo/>> Acesso em 25 de maio de 2022.
- MEYER, A. P.; ARTUR, A. C.; NAVARRO, F. C. Principais fatores petrográficos condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. In: **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. Fortaleza/BA. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p.153-164. Disponível em:<<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1473>>. Acesso em 18 de maio de 2023.
- MEYER, A.P.; ZANON, M. L.; ARTUR, A. C; OLIVEIRA, N.P.L. Influência da textura e da mineralogia na porosidade aparente, absorção de água e densidade aparente De Rochas Ígneas. **Tecnol. Metal. Mater. Miner.** São Paulo, v. 11, n. 4, p. 326-331, out./dez. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/tmm.2014.046>. Disponível em: <<https://www.tecnologiammm.com.br/artic le/doi/10.4322/tmm.2014.046>>. Acesso em 18 de maio de 2023.
- PAZETO A. A.; ARTUR, A. C. Correlação entre comportamento tecnológico e propriedades petrográficas das rochas ornamentais silicáticas Branco Galaxy, Ocre Itabira e Diamante Negro. **Revista Geociências**, São Paulo - UNESP, v. 34, n. 4, p. 828-847, 2015. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/10581>>. Acesso em 16 de maio de 2023.
- PEREIRA, A. M; SILVA, L.A; GARROT, T. G; CORREIA, J. C. G; CARAUTA, A. N. M. **Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2371>>. Acesso em 01 de maio de 2022.
- RHOPOINT INSTRUMENTS LIMITED. Disponível em: <https://www.rhopointinstruments.com/product-category/gloss-haze-doi-opacity/page/3/>. Acesso em 11 de maio de 2023.
- SANTOS, M.T.C.C.; RIBEIRO, R.C.C. Ação das intempéries em quartzitos que

foram limpos com ácido oxálico. **VIII Jornada do Programa de Capacitação Institucional – PCI/CETEM**. Rio de Janeiro, 1 ed. p.(224-231). Outubro, 2019. Disponível em:

<<https://www.cetem.gov.br/antigo/jornadas/jornadas-do-programa-de-capacitacao-institucional>>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

SOLANS, J.; DOMENECH, MV. Natureza e significado da dureza dos minerais. **Geology Papers**, 1978, nº 10, p. 407-425. Disponível em: <https://reunido.uniovi.es/index.php/TDG/article/download/2727/2592>. Acesso em 15 de maio de 2023.

TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M.C.M; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2º Edição. Companhia Editora Nacional, 09 de maio de 2007.

FRASCA, M. H. B. O.: YAMAMOTO, J.K. Ensaio de alteração acelerada em rochas para revestimento - estudos experimentais em rochas graníticas. In: **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, 16 a 19 de novembro de 2003, Fortaleza. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p.165-172. Disponível em <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1476>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2022.

SANTOS, Michelle Teixeira C.C.; RIBEIRO, C.C.R. Ação das intempéries em quartzitos que foram limpos com ácido oxálico. In: **VIII Jornada Do Programa de Capacitação Institucional**, 8, 2019, Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019. p.225-231. Disponível em <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2309/1/Anais%20VIII%20JPCI%202019.pdf>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2022.