

ANÁLISE DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DO ATAQUE QUÍMICO EM ROCHAS CARBONÁTICAS DAS BACIAS POTIGUAR E DO ARARIPE

Igor Magalhães Clemente¹

Antonio Carlos Artur²

José de Araújo Nogueira Neto³

¹Programa de Pós-graduação em Geologia Regional UNESP E-mail: igorclemente@yahoo.com.br

²Departamento de Petrologia e Metalogenia – UNESP, E-mail: acartur@rc.unesp.br

³Departamento de Geologia – UFC, E-mail: nogueira@ufc.br

RESUMO

Os calcários de bacias do nordeste do Brasil vêm sendo utilizados comercialmente como rochas ornamentais em diversos ambientes, sob forma polida ou tosca como revestimentos de fachadas, pisos, pias, bordas de piscina, dentre outros. Essas rochas passam por processos de deterioração ocasionados pela poluição atmosférica e por substâncias industriais usadas nos processos de instalação e manutenção, apresentando perda de brilho, alterações da cor original e redução da resistência mecânica. Estudos experimentais quanto à resistência ao ataque químico, simulando a utilização de produtos domésticos, foram realizados em calcários designados comercialmente por “Mont Charmot” e “Pedra Cariri”, proveniente respectivamente da Formação Jandaíra na Bacia Potiguar e da Formação Crato na Bacia do Araripe. Foram obtidas imagens das amostras antes e depois da ação dos reagentes, através de scanner com resolução de 600 dpi. As imagens foram processadas no *software* “ImageJ”, *open source*, e analisada a variação das características cromáticas no espectro RGB e as características morfológicas da textura. Alterações foram registradas de acordo com a substância, os ácidos foram os que mais afetaram as características cromáticas e morfológicas. As outras substâncias afetaram as características da cor no espectro RGB na ordem crescente de alteração: hidróxido de potássio; cloreto de amônia e hipoclorito de sódio.

Palavras Chave: Análise de imagem; Rochas ornamentais; Ataque químico em calcários; Morfologia matemática

ABSTRACT

The limestone of basins the northeastern Brazil have been used commercially as ornamental stone in several environments, rough or polished form as coatings for facades, floors, sinks, pool edges and others. These rocks go through processes of deterioration occasioned by pollution Atmospheric and by substances give industrial used us installation processes and maintenance, presenting loss of brightness, changes the original color and mechanical strength reduction. Experimental studies regarding the resistance to chemical attack, simulating the use of household products, were performed in limestones designated commercially by "Mont Charmot" and "Pedra Cariri", originating respectively of Jandaíra Formation in the Basin Potiguar and Crato Formation in the Basin Araripe. Images of the samples were obtained before and after the action of the reagents through the scanner at 600 dpi. The images were processed using "ImageJ", freely distributable, and analyzed the variation of the RGB spectrum

chromatic characteristics and morphological characteristics of the texture. Changes were recorded in accordance with the substance, the acids were the most affected the chromatic characteristics and morphological. The other substances affect the characteristics of color in the RGB spectrum in order of increasing change: potassium hydroxide, ammonium chloride and sodium hypochlorite.

Keywords: Image analysis; Dimension stones; Chemistry attack on limestone; Mathematical morphology

INTRODUÇÃO

Com o crescimento do mercado de rochas ornamentais novas técnicas estão sendo adotadas para aumentar a durabilidade dos produtos, agregando valor ao produto final e proporcionando uma maior garantia ao consumidor.

Dentre as várias características de uma rocha de revestimento talvez a mais importante para o consumidor final seja o padrão estético, já que predominantemente elas assumem uma função decorativa.

Segundo Figueiredo et al. (2004), não há dúvida que ao projetar uma obra, o arquiteto define que material usar e qual o acabamento que pretende, pelo que “aquele” material e “aquele” acabamento são indissociáveis de uma dada “cor” que foi pretendida para a construção.

A cor é uma característica física dos materiais que apresenta particular interesse nas pedras naturais, tornando-as mais ou menos apreciadas e influenciando de maneira decisiva o seu valor estético e comercial (Figueiredo et al. 2004).

A cor das rochas depende das suas características petrográficas, isto é, da sua composição mineralógica, textura e estrutura. Acresce que a cor, característica física dos materiais, é um conceito complexo, já que depende da percepção do observador, da fonte de iluminação, das características do objeto e do meio em que as radiações luminosas podem ser absorvidas, filtradas, refletidas, refratadas ou

interferir entre si (Esbert et al., 1997).

Torna-se importante não somente escolher uma rocha com cor que agrade ao projeto arquitetônico, mas também buscar garantias que aquela cor irá permanecer a mesma durante a vida útil da construção.

O presente trabalho mostra o resultado da aplicação da técnica de análise digital de imagens em calcários para quantificar a alteração dos padrões cromáticos no espectro RGB após o ensaio de alterabilidade química, que simula o envelhecimento acelerado através de produtos utilizados no dia a dia no tratamento de águas de piscinas, de limpeza, sucos de frutas cítricas, entre outros que podem entrar em contato com a rocha.

MATERIAIS E MÉTODOS

Calcários estudados

Para este trabalho foram escolhidos dois calcários de bacias sedimentares do nordeste brasileiro que nos últimos anos estão sendo bastante empregados como materiais de revestimento e ornamentação no setor da construção civil. Estes são designados comercialmente por “Mont Charmot” e “Pedra Cariri”, provenientes respectivamente da Formação Jandaíra na Bacia Potiguar (Sampaio & Schaller, 1968) e da Formação Crato na Bacia do Araripe (Neumann & Cabrera, 2009).

MONT CHARMOT

Calcário calcítico que apresenta coloração creme clara (quando seca) a creme (quando úmida), contudo podem ser observados entre os cristais de calcita manchas escuras, que refere-se à presença de micro-fósseis. Apresenta estrutura maciça, de granulação fina a muito fina.

As rochas que compõem o nível de estudo apresentam 80% de

miliolídeos, de tamanho médio de 0,30 mm, com presença de foraminíferos e matriz micrítica. Exibem fraturas obliterada por dolomitização, e a porosidade está relacionada a *vugs* evoluindo do cimento (Fig. 1).

De acordo com a classificação de Folk (1959,1962) pode ser denominado por biomicrito e segundo classificação de Dunham (1962) por packstone.

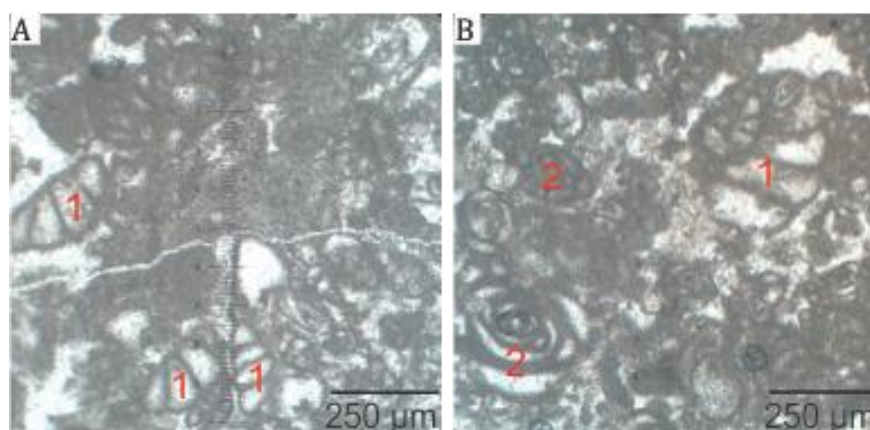


Figura 1 – Lâmina delgada do calcário Mont Charmot da Bacia Potiguar, observada em microscópio petrográfico. (A) Observada em luz natural com objetiva de 10x apresentando foraminífero uniserial (1); (B) Observada em luz natural com objetiva de 10x, apresentando foraminífero uniserial (1) e em rosa (2).

PEDRA CARIRI

Calcário finamente laminados (em torno de 2 mm) em níveis descontínuos e fossilíferos. Coloração predominante creme claro, amarelo intenso, por vezes cinza claro a tom marrom escuro quando presente óxido de manganês e pirita framboidal.

Constituída por menos de 10%

de material aloquímico (intraclastos, oolitos, fósseis e peloides). Apresentam fraturas preenchidas por calcita e *vugs* relacionados a sua porosidade (Fig. 2).

Pode ser classificada texturalmente como micrito (Folk, 1959 e 1962), ou um mudstone (Dunham, 1962).

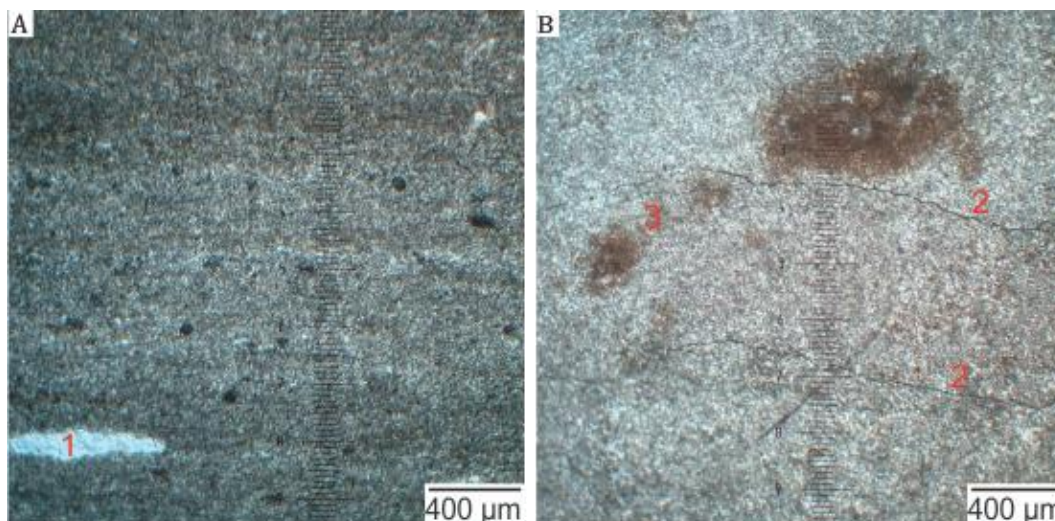


Figura 2 – Lâmina delgada do calcário Pedra do Cariri, da Bacia do Araripe, observada em microscópio petrográfico, em luz ortoscópica. (A) Observada com objetiva de 4X, com presença de *vugs* (1) na matriz micrítica; (B) Observada com objetiva de 4X, apresenta fraturas (2) em matriz micrítica e manchas de óxidos de manganês (3).

Ensaio ataque químico

Os principais agentes de alteração são as substâncias aciduladas. Dentre algumas substâncias nocivas para as rochas em relação ao ataque químico e manchamentos destacam-se: frutas cítricas (sobretudo limão), vinagre, produtos de limpeza (ácidos e alcalinos), refrigerantes gasosos, bebidas isotônicas, gasolina, querosene, bebidas alcoólicas coradas (destaque para vinho tinto), líquidos com oleosidade, óleos, graxas em geral e o ácido clorídrico (HCl) que incide sobretudo em áreas costeiras pela dispersão atmosférica de NaCl (sal marinho), atuando tanto através de chuvas ácidas quanto pelo aerossol marinho.

O ensaio foi realizado utilizando os reagentes, e tempo de exposição, aplicados para testes em placas cerâmicas, norma NBR 13818/97 anexo H da ABNT.

Foram utilizados 5 (cinco)

corpos de prova de cada tipo de calcário com dimensões 10 x 10 x 3 cm, sendo a Pedra Cariri utilizado com face tosca e o Mont Charmot com face polida simulando, assim, a forma de uso habitual desses materiais.

As placas foram inicialmente lavadas com água destilada e colocadas na estufa a 70°C por 24 horas. Para a viabilização na aplicação dos reagentes foi fixado um copo descartável com diâmetro de 7 cm em uma das superfícies de cada placa. Foram aplicados os reagentes sobre as placas, no interior dos copos, pelo tempo determinado para cada substância, conforme indicado na norma (Tabela 1). Após a retirada das substâncias as amostras foram lavadas em água corrente, secas naturalmente, as superfícies foram digitalizadas, processadas no *software* ImageJ e avaliados os efeitos dos ataques químicos na alteração da cor.

Tabela 1 – Reagentes, fórmula química, concentração, classe de reagente/produtos e tempo de ataque.

Reagente	Fórmula Química	Concentração	Classe de Reagente/Produtos	Tempo de Ataque (h)
Cloreto de Amônia	NH ₄ Cl	100g/l	Produtos químicos domésticos / detergentes e sabões.	24
Hipoclorito de Sódio	NaClO	20mg/l	Produto para tratamento de água / água sanitária, cloro.	24
Ácido Cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	100g/l	Ácido de baixa concentração / suco de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes.	96
Hidróxido de Potássio	KOH	100g/l	Álcalis de alta concentração / sabões em geral	96
Ácido Clorídrico	HCl	3%	Ácido de baixa concentração / ácido muriático.	96

Adaptado da norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997).

Aquisição e análise das imagens

A aquisição e análise das imagens visam a avaliação dos efeitos dos ataques químicos; conforme acima comentado. A aquisição depende de dois fatores, os quais se encontram relacionados com as resoluções espectrais e espaciais que se desejam obter (Bessa et. al 2008).

A resolução espectral se relaciona com os parâmetros de regulação do sistema de aquisição (brilho e contraste), enquanto a resolução espacial está relacionada com a escala de trabalho e depende da resolução espacial máxima permitida pelo equipamento.

A aquisição de imagem das placas ocorreu em duas etapas do ensaio, antes e após o ataque químico. A digitalização foi realizada com *scanner* na resolução de 600 dpi.

As imagens digitais adquiridas foram processadas utilizando o *software* ImageJ (open source) e realizada a extração de características das imagens. Um resumo dos fundamentos matemáticos do estudo deste software está descrito em Dias (2008).

A extração de características das imagens foi realizado de acordo com as técnicas de Rodenacker e Bengtsson (2003), que é um conjunto de operações de processamento e análise das imagens que teve como finalidade obter valores numéricos (parâmetros estatísticos) que caracterizam as imagens.

As características da imagem que foram extraídas para analisar a variação antes e depois do ensaio de alterabilidade foram agrupadas em duas categorias: cromáticas e morfológicas.

As características cromáticas descrevem a cor ou composição espectral da radiação emitida ou

refletida dos objetos, quantificada pela intensidade dos pixels em diferentes bandas espectrais. Para estudo da cor foram extraídas diretamente de cada banda do espectro RGB que compõe a imagem das medidas estatísticas das intensidades (frequência dos níveis de cinza), média, moda, desvio padrão, máximos e mínimos.

As características morfológicas descrevem a forma dos objetos que compõem as imagens. Elas não levam em conta a intensidade dos pixels e são calculadas sobre imagens binárias. Com essa metodologia foram comparados os objetos estruturantes das imagens que estão baseados em histogramas que delimitam espaços reais os quais formam áreas que podem ser interpretadas como granulações independentes.

Para chegarmos aos resultados finais foram utilizadas combinações das operações fundamentais da morfologia matemática erosão e dilatação (Dougherty & Lotufo, 2003). A erosão faz desaparecer todos os conjuntos inferiores ao elemento estruturante e permite também separar conjuntos que estiverem próximos. A dilatação permite conectar conjuntos separados e preenche todos os furos que são menores do que o elemento estruturante (Dias, 2008).

A dilatação e erosão foram empregadas em pares sendo definidas como:

Abertura - erosão da imagem seguida da dilatação da imagem erodida e;

Fechamento - dilatação da imagem seguida da erosão da imagem dilatada.

A operação de abertura suaviza o contorno dos objetos da imagem com a eliminação de ruídos (pixels isolados). A operação de fechamento também suaviza seções do contorno da imagem unindo linhas próximas e preenche pequenos vazios.

Essas operações atuam como filtro aos contornos dos elementos através da eliminação de detalhes da imagem menores que o elemento estruturante sem distorção geométrica dos detalhes.

As alterações impostas, sob certas condições, a que podem ser submetidos os materiais rochosos podem modificar, de modo intenso, a textura dos mesmos, transformando o arranjo estrutural (dispersão) e as propriedades (cor, forma, ordem, etc.) das suas unidades estruturais elementares (elementos de textura), principalmente, pela formação de heterogeneidades de natureza variada como vazios, alterações, etc. (Figueiredo et. al 1995, 1996).

Dentre os vários aspectos que podem ser estudados através das técnicas de análise de imagem, optou-se por avaliar as características cromáticas e morfológicas, a partir de imagens adquiridas através de digitalização das superfícies de placas das rochas estudadas antes e depois do ataque químico.

RESULTADOS

As alterações mais perceptíveis após a remoção das substâncias foram observadas nas placas em contato com os ácidos cítrico e clorídrico. Outras alterações menores e quase não perceptíveis a vista humana foram identificadas através da extração de características da imagem digital.

As duas amostras estudadas são calcários de composições similares mas apresentam variações em sua textura devido as diferentes formas de deposição da qual foram formadas. Em geral ocorrem os mesmos tipos de alterações, sendo diferenciadas pela intensidade na variação da cor, fato ligado ao arranjo dos grãos da matriz.

Cor

A alteração na cor dessas rochas são evidentes através de análise visual e direta das imagens correspondentes às fases do ensaio, e reforçada pela análise das curvas individuais de cada componente de cor no espectro RGB (vermelho, verde e azul), as quais normalmente exibem formas unimodais com leves deslocamentos para os valores mais altos dos níveis de cinzento.

Os parâmetros estatísticos obtidos no espectro RGB estão apresentados na tabela 2 e mostram semelhanças quando comparados aos valores medidos antes do ataque químico (rocha sã).

Como pode ser visto nas Figuras 3 e 4, após aplicação dos reagentes químicos nas superfícies das placas foram observados danos irreversíveis às características cromáticas da rocha.

Na tabela 3, são mostrados a variação dos valores médios dos espectros RGB para cada reagente nas duas amostras.

Com o reagente ácido cítrico foi observado um padrão na alteração das características cromáticas. A Pedra Cariri e o Mont Charmot tiveram uma elevação na frequência dos espectros RGB, ficando a média dos níveis de cinza nos três canais de cores muito próximo do valor 255 (valor da cor branca em imagem digital RGB).

O ácido clorídrico reagiu com as rochas corroendo-as, reação esperada por se tratarem de rochas calcárias. Entretanto, foi observado que a Pedra Cariri sofreu uma perda nos níveis de cinza dos espectros RGB de 22,81%, 30,31% e 42,05%, o que caracteriza um

escurecimento da cor, enquanto no Mont Charmot houve um ganho de cerca de 5% dos espectros RGB, caracterizando um leve clareamento da rocha. Esse resultado ocorreu devido as diferenças petrográficas das amostras, a Pedra Cariri é um calcário finamente laminado com intercalações de cores mais escuras nas finas camadas que contêm óxido de manganês. O ácido corroeu a placa deixando exposta uma nova camada, que contém óxido de manganês em sua composição e ficando mais escura que a camada inicial.

Nos demais reagentes (hidróxido de potássio, hipoclorito de sódio e cloreto de amônia) as mudanças foram diferenciadas para as duas rochas, mas mantendo os mesmos níveis de alteração quando são comparadas em valores modulares. Na Pedra Cariri o hidróxido de potássio afetou mais as características do espectro vermelho, enquanto no Mont Charmot o espectro azul sofreu maior alteração nas características. O espectro verde teve alterações similares mas em direções opostas, na Pedra Cariri ocorreu aumento de 7%, enquanto no Mont Charmot houve uma redução de 6% da média.

O hipoclorito de sódio foi o reagente que modificou menos os três espectros (vermelho, verde e azul), tendo para as duas amostras uma variação menor que 2% (Figura 5).

O cloreto de amônia pouco modificaram os espectros vermelho e verde, ocorrendo uma maior variação no espectro azul (-4% para pedra do cariri e 7% para o Mont Charmot).

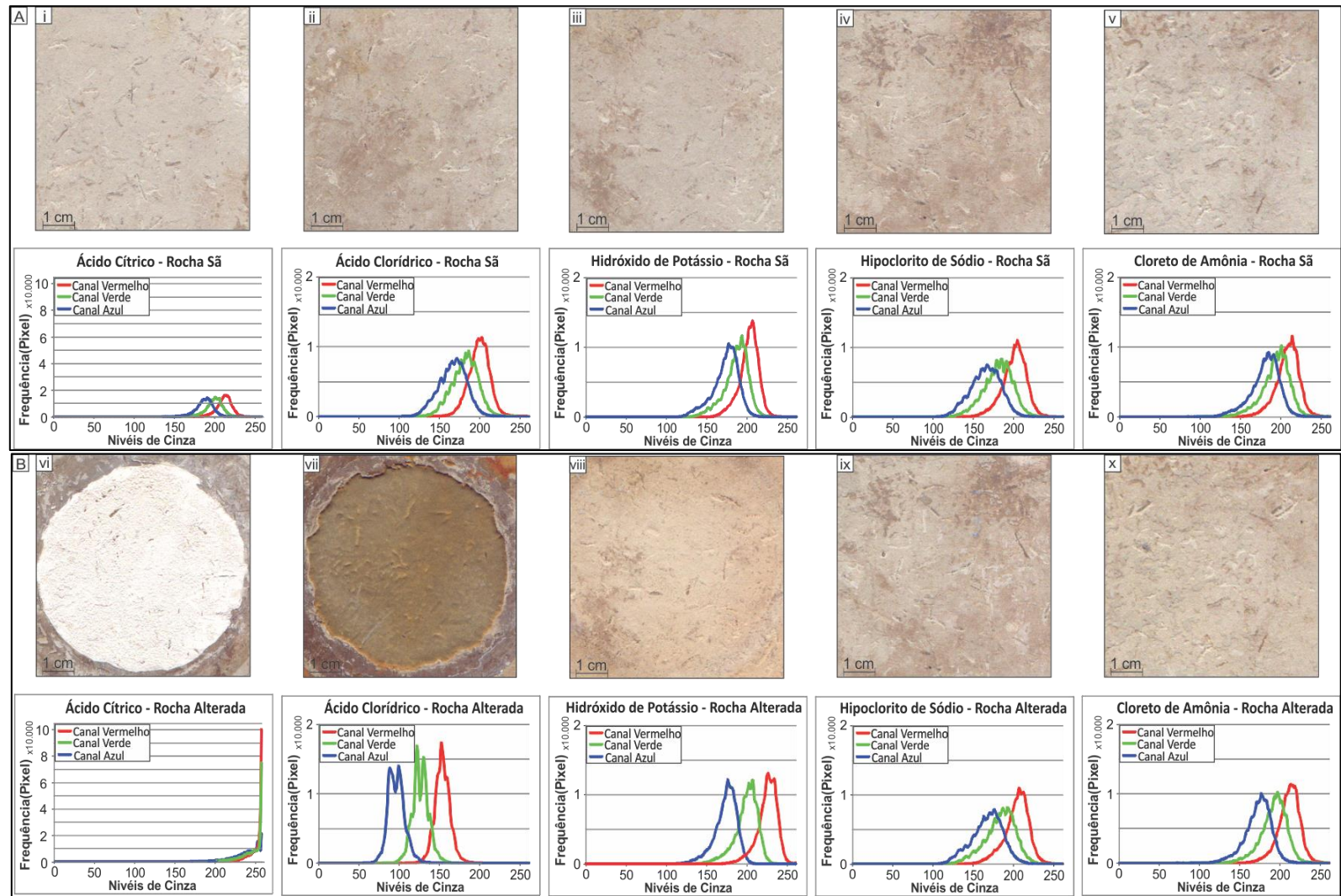


Figura 3 – Pedra Cariri. Imagens das placas e histogramas individuais de cor para as componentes vermelho (R), verde (G) e azul(B), (A) – rocha sã; (B) – rocha alterada. (i e vi) ácido cítrico; (ii e vii) ácido clorídrico; (iii e viii) hidróxido de potássio; (iv e ix) hipoclorito de sódio e (v e x) cloreto de amônia.

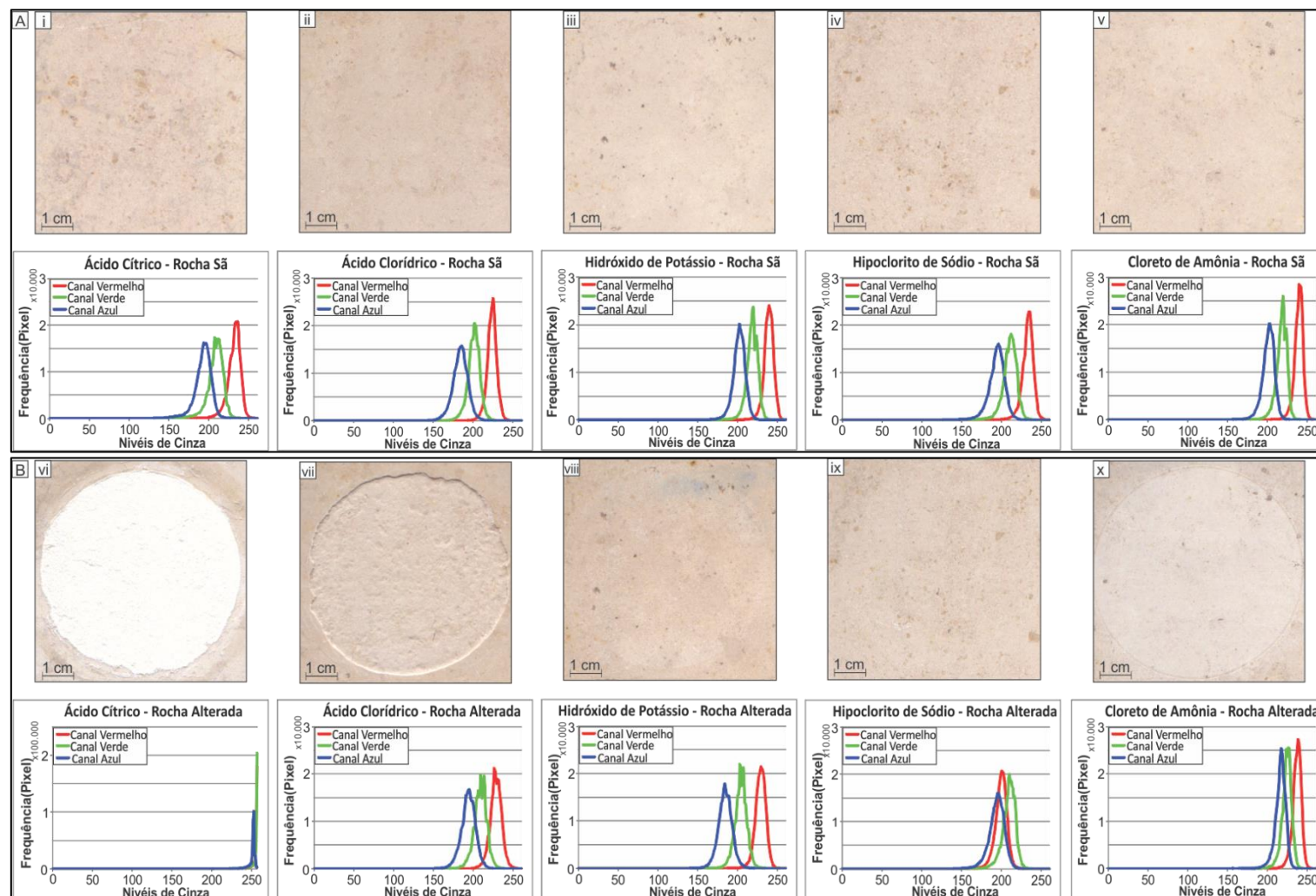


Figura 4 – Mont Charmot. Imagens das placas e histogramas individuais de cor para as componentes vermelho (R), verde (G) e azul(B), (A) – rocha sã; (B) – rocha alterada. (i e vi) ácido cítrico; (ii e vii) ácido clorídrico; (iii e viii) hidróxido de potássio;(iv e ix) hipoclorito de sódio e (v e x) cloreto de amônia.

ANÁLISE DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DO ATAQUE QUÍMICO...

Tabela 2 – Valores estatísticos básicos dos calcários Pedra do Cariri e Mont Charmot obtidos através da análise de imagem da amostra sã e alterada após ataque químico.

Reagente	Valor	Pedra Cariri						Mont Charmot					
		Rocha Sã			Rocha Alterada			Rocha Sã			Rocha Alterada		
		Canais			Canais			Canais			Canais		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Ácido Cítrico	Média	208,58	195,93	183,93	246,33	241,11	234,81	226,87	204,05	188,46	253,41	252,96	248,94
	Máximo	255	255	251	255	255	255	255	241	231	255	255	255
	Mínimo	99	83	77	76	73	72	150	115	107	166	163	152
	Moda	211	198	188	255	255	255	231	203	189	255	255	251
	Dv. Padrão	10,95	12,45	12,56	13,72	17,95	19,74	7,74	9,18	10,27	3,84	5,04	5,34
Ácido Clorídrico	Média	194,61	177,34	162,53	150,21	123,60	94,19	218,80	196,61	179,96	223,79	204,85	189,82
	Máximo	255	248	243	207	216	186	253	249	237	255	251	255
	Mínimo	115	83	84	94	55	34	133	99	95	156	125	104
	Moda	198	182	168	149	119	97	220	198	182	222	205	191
	Dv. Padrão	12,66	15,88	16,76	9,37	10,13	10,18	6,20	7,76	9,63	7,13	7,95	8,94
Hidróxido de Potássio	Média	197,65	182,17	169,32	220,51	194,98	169,98	233,99	213,61	197,53	224,31	199,93	180,72
	Máximo	255	248	234	255	248	232	255	255	244	255	245	244
	Mínimo	110	95	76	130	96	90	109	75	92	121	96	91
	Moda	202	189	173	222	203	173	235	215	198	225	199	180
	Dv. Padrão	11,91	14,91	15,85	12,51	14,45	13,91	7,09	8,01	8,37	6,86	7,82	8,75
Hipoclorito de Sódio	Média	196,21	176,44	161,41	199,27	179,38	163,58	228,34	206,28	189,99	225,25	205,41	190,20
	Máximo	255	255	248	255	253	241	255	255	247	255	255	255
	Mínimo	104	81	75	116	94	85	131	100	100	139	116	106
	Moda	200	181	163	202	188	172	231	208	192	229	206	192
	Dv. Padrão	14,66	17,95	18,20	14,91	18,37	18,75	7,24	9,02	10,76	6,67	8,24	10,00
Cloreto de Amônia	Média	203,72	189,59	176,59	206,49	188,15	169,15	234,28	213,34	197,03	232,18	219,61	211,81
	Máximo	255	255	252	255	252	234	255	245	238	255	254	253
	Mínimo	104	87	83	101	72	71	146	118	99	161	141	131
	Moda	209	196	181	209	193	173	235	215	199	234	222	213
	Dv. Padrão	13,91	16,62	17,26	13,41	15,86	15,86	5,51	6,72	7,58	5,93	6,73	7,22

Tabela 3 – Valores estatísticos básicos da variação das médias dos valores RGB dos calcários Pedra do Cariri e Mont Charmot obtidos através da análise de imagem da amostra sã e alterada após ataque químico.

Rocha	Reagente	ΔR	ΔG	ΔB
Pedra Cariri	Ácido Cítrico	18,10%	23,06%	27,67%
	Ácido Clorídrico	-22,81%	-30,31%	-42,05%
	Hidróxido de Potássio	11,57%	7,03%	0,39%
	Hipoclorito de Sódio	1,56%	1,66%	1,34%
	Cloreto de Amônia	1,36%	-0,76%	-4,22%
Mont Charmot	Ácido Cítrico	11,70%	23,97%	32,09%
	Ácido Clorídrico	2,28%	4,19%	5,48%
	Hidróxido de Potássio	-4,14%	-6,40%	-8,51%
	Hipoclorito de Sódio	-1,36%	-0,43%	0,11%
	Cloreto de Amônia	-0,90%	2,94%	7,50%

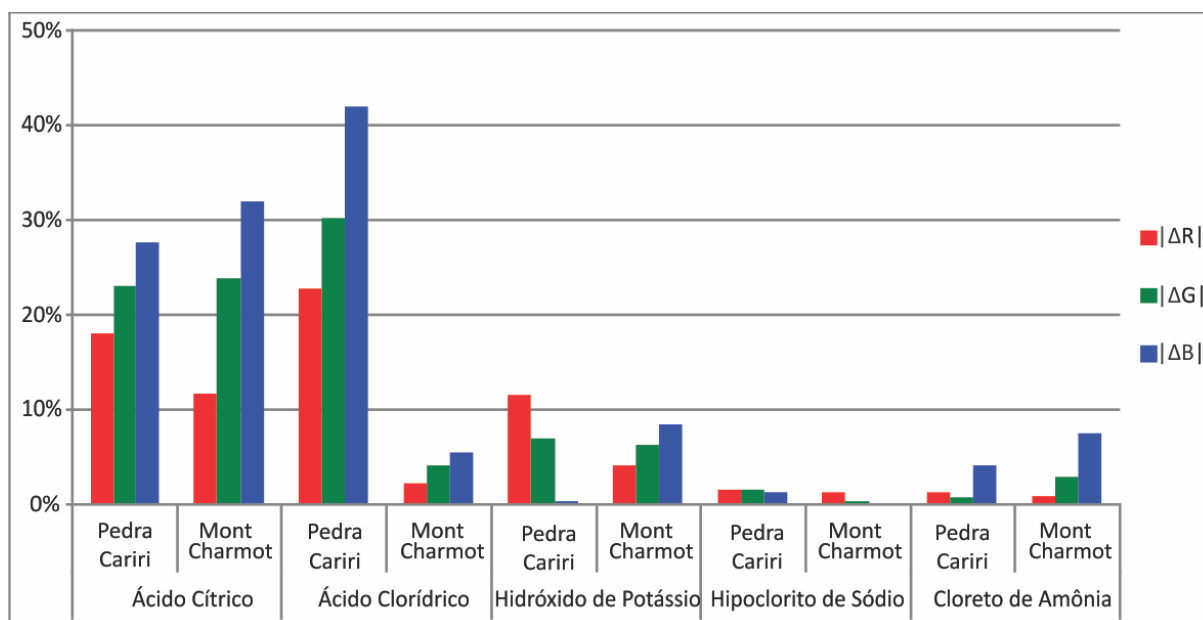


Figura 5 – Gráfico da variação (porcentagem em função modular) das características cromáticas dos calcários Pedra do Cariri e Mont Charmot obtidos através da análise de imagem da amostra sã e alterada após ataque químico.

As curvas dos níveis de cinza no espectro RGB mostram variações das características em todas as placas, alguns reagentes para níveis mais elevados e em outros reduzindo. Isso mostra que as características cromáticas das rochas se alteram de forma diferente para os diferentes reagentes. Todos podem ser vistos como nocivos para a manutenção das cores originais dos produtos, tendo nesse trabalho maior efeito nas amostras da Pedra Cariri. Este resultado ocorre devido a sua formação ser por finas camadas laminadas, assim como, por ela ser utilizada da forma tosca, e sendo assim mais fácil a ação dos reagentes em sua composição.

Características morfológicas

A aplicação dos processos de abertura e fechamento possibilitou a análise dos padrões morfológicos das imagens, obtendo-se curvas de distribuição granulométrica (Figura 6) referentes à distribuição de tamanho (granulometria) e os respectivos parâmetros básicos (Tabela 4).

Os resultados obtidos mostram que após o ataque químico nas placas ocorreu uma redução na média dos

tamanhos dos grãos. Sendo ainda observado nos histogramas de distribuição um aumento na frequência de grãos com dimensões maiores que 1 mm. Este fato demonstra que os elementos representados na fase fechamento se tornam cada vez mais finos e mais homogêneos após o ataque químico.

As alterações das dimensões das características da morfologia das imagens após ataque químico se comportaram de forma padrão com relação aos reagentes ácido clorídrico, hidróxido de potássio, hipoclorito de sódio e cloreto de amônia. E o ácido cítrico afetou as características de forma diferenciada, principalmente na Pedra Cariri.

O hidróxido de potássio foi a substância que menos afetou as dimensões dos grãos, tanto na fase de abertura quanto no fechamento.

O deslocamento das curvas granulométricas no aumento da frequência é associado ao aparecimento de elementos claros na textura de maiores dimensões. A textura assim será mais grosseira que a inicial.

Tabela 4 – Valores estatísticos básicos das distribuição de tamanhos (granulometria em mm) para as amostras antes (rocha sã) e após (rocha alterada) o ataque com os reagentes, nos calcários Pedra do Cariri e Mont Charmot.

Reagente	Valor	Pedra Cariri				Mont Charmot			
		Abertura		Fechamento		Abertura		Fechamento	
		Rocha Sã	Rocha Alterada	Rocha Sã	Rocha Alterada	Rocha Sã	Rocha Alterada	Rocha Sã	Rocha Alterada
Ácido Cítrico	Média (mm)	0,88	0,67	0,42	0,43	0,92	0,48	0,66	0,30
	Moda	0,36	0,36	0,12	0,12	0,36	0,26	0,12	0,09
	Dv. Padrão	0,85	0,5	0,77	0,63	1,07	0,35	1,18	0,35
Ácido Clorídrico	Média (mm)	0,95	1,09	0,45	0,48	0,78	0,86	0,41	0,59
	Moda	0,36	0,36	0,12	0,12	0,36	0,22	0,12	0,07
	Dv. Padrão	2,06	2,33	1,55	1,84	0,93	1,15	1,17	1,48
Hidróxido de Potássio	Média (mm)	0,93	1,04	0,46	0,59	0,75	0,70	0,45	0,41
	Moda	0,36	0,36	0,12	0,12	0,36	0,22	0,12	0,07
	Dv. Padrão	1,75	1,92	1,17	1,77	0,68	1,57	0,62	1,29
Hipoclorito de Sódio	Média (mm)	1,16	1,08	0,56	0,76	0,81	0,64	0,54	0,45
	Moda	0,36	0,36	0,12	0,12	0,36	0,22	0,12	0,07
	Dv. Padrão	1,94	2,16	1,92	2,43	0,75	0,68	1,10	0,87
Cloreto de Amônio	Média (mm)	1,07	1,06	0,65	0,67	0,93	0,58	0,59	0,39
	Moda	0,36	0,36	0,12	0,12	0,36	0,22	0,12	0,07
	Dv. Padrão	1,53	1,46	1,88	1,89	1,03	0,60	1,43	0,68

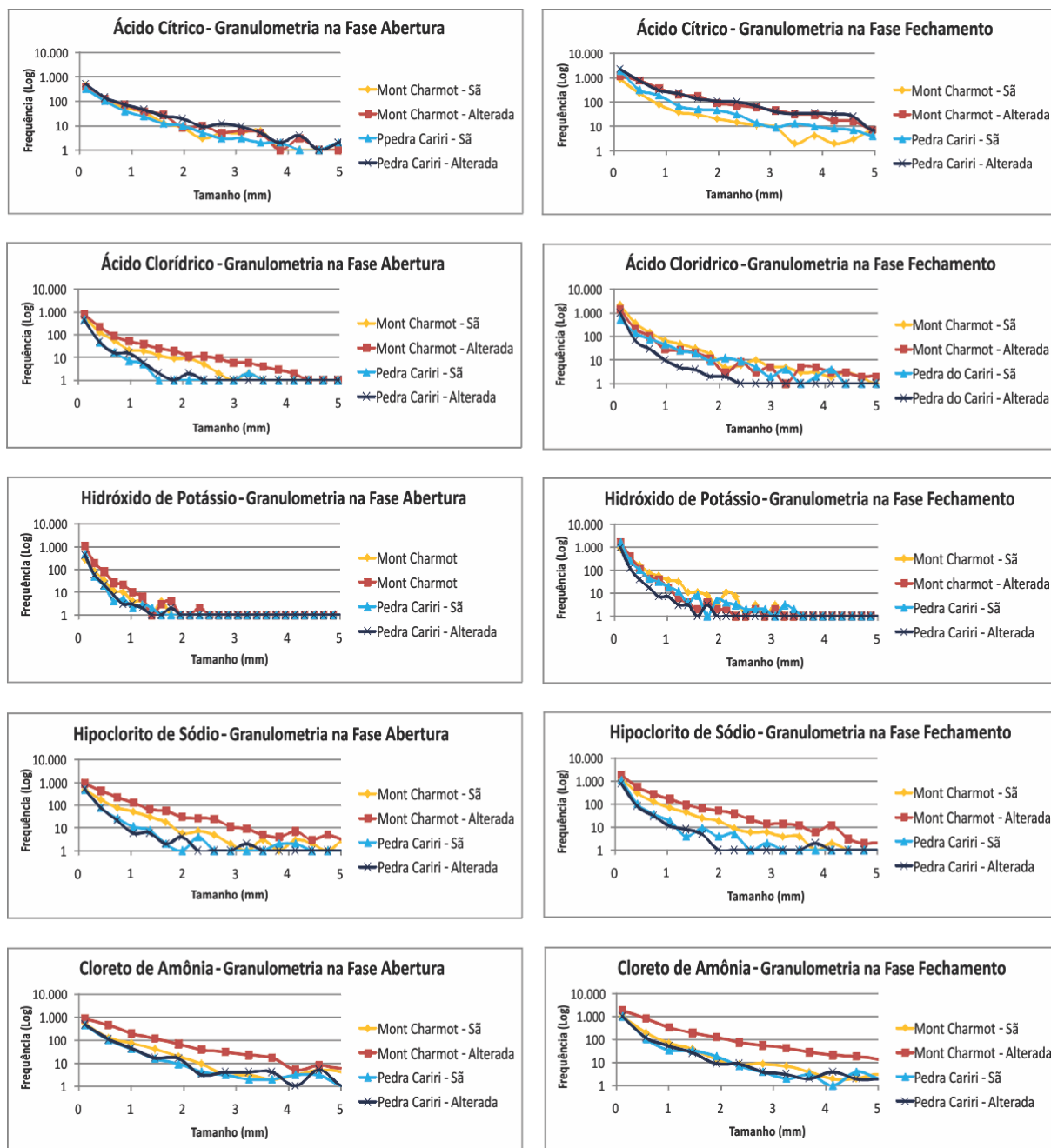
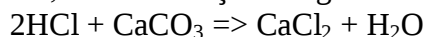


Figura 6 – Curvas de distribuição granulométrica por abertura e fechamento obtidas das imagens antes e após os ataques químicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O carbonato de cálcio em contato com o ácido clorídrico desencadeia uma reação formando água, gás carbônico e cloreto de cálcio, corroendo a rocha onde o reagente ficou em contato, como a reação a seguir.



As outras substâncias afetaram em menor grau, sendo observadas alterações nos padrões do espectro RGB da imagem na seguinte ordem crescente de alteração: hidróxido de potássio, cloreto de amônia e hipoclorito de sódio.

Em ambas as rochas foram

observadas as seguintes alterações após o contato com as substâncias. O cloreto de amônia alterou as superfícies embranquecendo sua cor original, com variação menor que 8% das características originais. O hidróxido de potássio provocou um efeito de clareamento da cor, observado na alteração dos três canais de cor RGB em níveis similares (9%). O ácido clorídrico ocasionou o escurecimento da cor principalmente na Pedra do Cariri, onde foi registrado variação no canal azul (B) superior a 40%. O ácido cítrico removeu completamente a cor original ficando deixando a rocha completamente branca. E o hipoclorito de sódio foi o que menos afetou a rocha, alterando menos de 8% o espectro azul.

Recomenda-se cautela na utilização dos calcários estudados em ambientes que sejam propícios a necessidade de limpeza constante com produtos agressivos como ácido muriático, sabão e detergentes. Devido a presença de óxido de manganês a Pedra Cariri está mais susceptível ao escurecimento quando em contato com ácido de baixa concentração, com por exemplo o ácido muriático, sendo maléfico também ao Mont Charmot pelo processo de corrosão que irá ocorrer.

Apesar da Pedra Cariri ter apresentado variações dos espectros RGB menores que 2% após aplicação do hipoclorito de sódio (cloro) recomenda-se atenção pois são constantemente utilizadas no entorno de piscinas, ao longo do tempo a falta de drenagem adequada pode resultar em constante acúmulo de água com cloro podendo provocar clareamento.

Com os cuidados básicos essas rochas são indicadas no uso ornamental. Se seu uso for realizado após processo de impermeabilização os efeitos das alterações devem ser reduzidos a valores mínimos. Cuidados básicos como limpeza imediata quando

derramados sucos cítricos, refrigerantes, vinagres e outros também reduzirá o impacto da alteração na cor. Assim também a limpeza sem agentes agressivos, como sabões, ácidos, detergentes, etc, sendo mais recomendável limpeza com água e em situações extremas o uso de detergente neutro.

Muitos produtos de limpeza usados no dia-a-dia na manutenção de materiais cerâmicos e outros revestimentos podem danificar a cor das rochas. Por isso não se recomenda a utilização de: produtos de limpeza ácidos; amônia; produtos de limpeza alcalinos; vinagre; álcool; produtos para limpar vidros; tira manchas.

Os compostos usados na manutenção de pedras naturais devem apresentar pH neutro. Na medida do possível, é indicada a aplicação apenas de produtos desenvolvidos especialmente para limpeza de rochas ornamentais. Não é recomendável lavar as rochas ornamentais com água, visto que essa pode penetrar por entre as placas e manchá-las. Dessa forma, não há necessidade de se utilizar nada além de um pano úmido.

Todos os reagentes utilizados nos ensaios são substâncias de uso diário encontradas nos produtos de limpeza ou na manutenção de pisos, fachadas e utensílios. As substâncias

Apresentaram sempre algum poder agressivo as rochas, o que reforça a importância da ampliação dos conhecimentos das características tecnológicas das rochas naturais e de seu comportamento diante das inúmeras possibilidades de alterabilidade que apresentam.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 13818: Determinação da resistência ao ataque químico. Anexo – H. Rio de Janeiro, 1997.
- BESSA, M. F., TORQUATO, J. R. F., Figueiredo, C., Nogueira Neto, J. A. Estudo dos granitos cearenses "Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará" por análise digital de imagem em câmara com atmosfera saturada de SO₂. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 16, p. 51-62, 2008.
- DIAS, F. C. 2008. *Uso do software Image J para análise quantitativa de imagens de microestruturas de materiais*. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores – INPE. 145p.
- DOUGHERTY, E.R., LOTUFO, R. A. 2003. Hands-on morphological image processing. *SPIE Press*, Washington, 290 p.
- DUNHAM, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1*, Tulsa, Oklahoma. 108-121.
- ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO, J. F., MONTOTO, M., LIMÓN, T. G., BALLESTER, M., A. 1997. Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. *Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona*. 139 p.
- FIGUEIREDO, C.; MAURÍCIO, A. AIRES-BARROS, L. 1995. Morphological analysis and quantification of rock weathered surfaces: preliminary study, 1995. *Memória*, Porto, v.4. 183-188.
- FIGUEIREDO, C.; MAURÍCIO, A. AIRES-BARROS, L. 1996. Grey Tone Function covariance applied to the analysis and quantification of rock decayed surfaces: a preliminary study. In: 8th Portuguese Conference On Pattern Recognition, Recpad 1996, Guimarães, Portugal, 237-241.
- FIGUEIREDO, P., FIGUEIREDO, C., AIRES-BARROS, L., & FLAMBÓ, A. 2004. Contribuição para o estudo cromático das rochas da capela do palácio da Bemposta. *PROELIUM – Revista da Academia Militar*, VI Série No. 1, 161-178.
- FOLK, R.L. 1959. Practical Petrographical classification of limestones. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, V.43, No.1. Tulsa-Oklahoma. 1-38.
- FOLK, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1*. Tulsa, Oklahoma. 62-84.
- NEUMANN, V. H. & CABRERA, L. 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil. In: *Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil*, 5, Rio Claro. *Boletim do 5º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil*. UNESP, Rio Claro, p. 279-285.
- RODENACKER, K. & BENGTTSSON, E. 2003. A feature set for cytometry on digitized microscopic images. *Analytical cellular pathology: the journal of the European Society for Analytical Cellular Pathology*, 25 (1): 1-36.
- SAMPAIO, A.V. & SCHALLER H. 1968. Introdução a estratigrafia da Bacia Potiguar. Rio de Janeiro, *Boletim Técnico PETROBRÁS*, 11(1): 19-44.