

Anderson de Araújo Soares

**FORMAS DE ALTERAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS
GRANITOS DA CANTARIA DA IGREJA DE SANTA RITA,
PARATY-RJ.**

Trabalho de Conclusão de Curso

UFRJ
Rio de Janeiro
2010



UFRJ

Anderson de Araújo Soares

**FORMAS DE ALTERAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS GRANITOS
DA CANTARIA DA IGREJA DE SANTA RITA, PARATY – RJ.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Emílio Velloso Barroso

Rio de Janeiro

Julho 2010

Soares, Anderson.

Formas de Alteração e Avaliação da Degradação dos Granitos da Cantaria da Igreja de Santa Rita, Paraty – RJ. /

Anderson de Araújo Sares - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.

xii, 63 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientador : Emílio Velloso Barroso

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Emílio, Velloso Barroso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. A avaliação da degradação dos granitos da Igreja de Santa Rita, Parati.

Anderson de Araujo Soares

FORMAS DE ALTERAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS GRANITOS
DA IGREJA DE SANTA RITA, PARATY – RJ.

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Geólogo.

Orientador:

Emílio Velloso Barroso
Viviane Farroco da Silva

Aprovada em: 23.07.2010

Por:

Orientador: Emílio Velloso Barroso

Helena Polivanov (UFRJ)

Andreia Ferreira Borges (UFRJ)

Aos meus pais Isael e Rita, minha esposa
Adriana e meu irmão Júnior.

Agradecimentos

Ao meu orientador e Professor Emílio, por todo o suporte dado a este trabalho e pelos preciosos ensinamentos.

À Geóloga Viviane Farroco da Silva pela Co-orientação na execução deste trabalho.

Ao diretor do Museu de Arte Sacra de Parati Dr. Júlio Cezar Neto Dantas por permitir o estudo e franquear o acesso à Igreja de Santa Rita.

Ao CNPQ pelo auxílio recebido através de bolsa de iniciação científica.

Resumo

Soares, Anderson. **Formas de Alteração e Avaliação da Degradação dos Granitos da Igreja de Santa Rita, Paraty – RJ.** 2010. xii, 63f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Esse estudo visa avaliar os efeitos do intemperismo sobre as rochas de cantaria utilizadas em fachadas de um prédio histórico da Cidade de Paraty, levando-as a degradação. O objeto de estudo é a Igreja de Santa Rita, cujas rochas de cantaria estão submetidas a um ambiente fortemente intempérico devido a sua localização próxima ao mar e às condições do clima local.

Com o objetivo de avaliar a intensidade do intemperismo e seus mecanismos de alteração, foi realizado o mapeamento das morfologias de alteração observadas na fachada da igreja. Ensaios não destrutivos (esclerometria, perfis de rugosidade e absorção de água) foram empregados para quantificar o grau de degradação das rochas. Utilizou-se a microscopia de luz transmitida para caracterização do principal tipo litológico e a difração de raios-X foi utilizada para verificar a presença de minerais secundários. Foi realizada ainda análise catiônica por via úmida para avaliação da presença de sais.

Conclui-se que os principais resultados da alteração são a alteração cromática e a perda de massa, inclusive com a formação de lacunas na argamassa de assentamento. Há redução de resistência e aumento da absorção de água, comprovando a degradação pelo intemperismo. Há necessidade de restauração com processos de consolidação, limpeza de crostas e substituição das argamassas danificadas. Esta abordagem é útil para a documentação e avaliação dos danos, servindo para posteriores estudos de ações de conservação-restauração deste patrimônio histórico.

Palavras-chave: rochas de cantaria; patrimônio histórico; ensaios não destrutivos

Abstract

SOARES, Anderson. Assessing Weathering Morphologies and Granite Decay on the façade of Santa Rita's Church, Paraty – RJ.2010. xii, 63 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This study aims to evaluate the effects of weathering on the stones used in a building façade of a historic construction in the city of Paraty resulting in decay. The studied object is the Church of Santa Rita, whose stonework is subjected to an intense weathering due to its location near the ocean and the local climate characteristics.

A mapping of weathering morphologies observed on church's façade was performed in order to evaluate weathering intensity and alteration mechanisms. Non destructive tests (Schmidt hammer, roughness profiles and water absorption) were carried out to quantify the weathering degree of rocks. In addition, the rock was classified by means of transmitted light microscopy technique and the X-ray diffraction was used to verify the presence of secondary minerals. Further cationic analysis was performed through wet means to evaluate the presence of salts.

It can be concluded that main weathering morphologies are chromatic changes, loss of mass and gaps formed by mortar withdrawing. There is a necessity of restoration by consolidation processes, cleaning crusts and replacement of damaged mortars. It follows that this approach is useful for documentation and assessment of damages, serving to further study the actions of conservation and restoration of Cultural Heritage.

Keywords: rock stonework; cultural heritage; non destructive tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Fachada da Igreja de Santa Rita	14
Figura 02: Localização da Igreja de Santa Rita	14
Figura 03: Fácies equigranular do Granito Parati	17
Figura 04: Mapa geológico do entorno de Parati, modificado de Eirado et.al. (2006).....	18
Figura 05: Curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha	21
Figura 06: Morfologias geradas pela cristalização de sais, modificado Almeida (2000).....	25
Figura 07: (A) Esquema da nomenclatura das colunas (B) Esquema da nomenclatura dos blocos.....	27
Figura 08: Esclerômetro do tipo L.....	30
Figura 09: Esquema simplificado de funcionamento do esclerômetro.....	31
Figura 10: Malha regular para ensaio de esclerometria nos blocos	32
Figura 11: Tubo graduado para ensaio de absorção	33
Figura 12: Perfilógrafo usado para gerar perfis de rugosidade.....	33
Figura 13: Perfis de Rugosidade de Barton (1977).....	34
Figura 14: Lâmina feita por gotejamento	35
Figura 15: Ensaio para separar sobrenadante da amostra	36
Figura 16: Sobrenadante da amostra que se concentra no fundo.....	36
Figura 17: Bloco apresenta a morfologia do tipo erosão	39
Figura 18: Bloco apresenta a morfologia do tipo plaqueta.....	39
Figura 19: Bloco apresenta a morfologia do tipo perda de argamassa	40
Figura 20: Bloco apresenta a morfologia do tipo película.....	40
Figura 21: Bloco apresenta a morfologia do tipo mancha	41
Figura 22: Bloco apresenta a morfologia do tipo colonização biológica	41
Figura 23: Mapeamento das formas de alteração do grupo perda de massa.....	42
Figura 24: Mapeamento das formas de alteração do grupo alterações cromáticas.....	43
Figura 25: Mapeamento Total das formas de alteração	44
Figura 26: Mapa de contorno do bloco 2.2 da coluna 1	46
Figura 27: Mapa de contorno do bloco 9.1 da coluna 1	46
Figura 28: Mapa de contorno do bloco 10.1 da coluna 2	46
Figura 29: Mapa de alteração do bloco 2.2 da coluna 1	47
Figura 30: Mapa de alteração do bloco 9.1 da coluna 1	47

Figura 31: Comparação dos ensaios de absorção	48
Figura 32: Comparação dos ensaios de absorção	48
Figura 33: Localizaçãodos Ensaios “in situ”	51
Figura 34: Lâmina Petrográfica	52
Figura 35: Difratograma da amostra total.....	53
Figura 36: Difratograma da fração argila.....	53
Figura 37: Precipitado de sal	54
Figura 38: Tentativa de remediação do bloco erodido	59
Figura 39: Tentativa de reconstrução do bloco.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Correlação entre a nomenclatura de Campo de a bibliografia.....	16
Tabela 2: Morfologias de alteração associadas à granitos, modificado de Del Lama (2009).....	20
Tabela 3: Clasificação da alteração de granitos segundo Basu et.al. (2009).....	23
Tabela 4: Correlação do grau de intemperismo com os índices de esclerometria, modificado de Basu et.al. (2009).....	23
Tabela 5: Valores de esclerometria para granitos, modificado de Tugrul e Zarif (1999).....	24
Tabela 6: Correlação do grau de intemperismo com os índices de esclerometria, modificado de Dearman & Irfan (1978)	24
Tabela 7: Morfologias do grupo de Perda de Coesão (Farroco, 2008).....	28
Tabela 8: Morfologias do grupo de perda de matéria ou perda de massa (Farroco, 2008).....	28
Tabela 9: Morfologias do grupo de Alterações cromáticas e depósitos (Farroco, 2008)	29
Tabela 10: Morfologias do grupo fissuras, fraturas e deformações (Farroco, 2008).....	29
Tabela 11: Morfologias presentes na fachada da Igreja de Santa Rita	37
Tabela 12: Dados estatísticos do ensaio de esclerometria.....	45
Tabela 13: Dados estatísticos do ensaio de rugosidade	49
Tabela 14: Correlação dos dados de rugosidade e esclerometria	49
Tabela 15: Composição modal da amostra.....	52

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
SUMÁRIO	XI
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Enunciação do Tema	13
1.2. Objeto de Estudo	14
1.3. Objetivos e Justificativas	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Geologia	16
2.2. Intemperismo	18
2.2.1 Mapeamento das Forma de Alteração	18
2.2.2 Avaliação Geomecânica	21
2.2.3 Absorção de Água.....	24
2.2.4 Cristalização de Sais.....	25
3. METODOLOGIA	27
3.1. Ensaios “in situ”	27
3.1.1 Mapeamento das Forma de Alteração	27
3.1.2 Avaliação Geomecânica	30
3.1.3 Absorção de Água.....	32
3.1.4 Rugosidade	33
3.2. Ensaios de Laboratório	35
3.2.1 Petrografia por Luz Transmitida.....	35
3.2.2 Difração de Raios - X	35
3.2.3 Análise Iônica por Via Úmida	36

4. RESULTADOS	37
4.1. Ensaios “in situ”	37
4.1.1 Mapeamento das Forma de Alteração	37
4.1.2 Avaliação Geomecânica	45
4.1.3 Absorção de Água.....	48
4.1.4 Rugosidade	49
4.2. Ensaios de Laboratório	52
4.2.1 Petrografia por Luz Transmitida.....	52
4.2.2 Difração de Raios - X	53
4.2.3 Análise Iônica por Via Úmida	54
5. CONCLUSÕES	55
6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enunciação do Tema

Devido a sua imensa utilidade e uso pela sociedade desde que as mesmas se estabeleceram como tais, as rochas têm sido utilizadas como elementos ornamentais e decorativos, sendo também utilizados como elementos estruturais (colunas e pilares) em diversas construções, e na maioria dos casos aqui no Brasil como rocha de cantaria para fins de revestimento de paredes e fachadas ou até mesmo como piso nos interiores e exteriores das construções.

As rochas graníticas, pela sua durabilidade e enorme variedade de cores e padrões texturais e estruturais, têm sido as mais utilizadas nos revestimentos de interiores e exteriores, tanto em pisos quanto em paredes e fachadas. Com o grande crescimento do mercado de rochas ornamentais, estas passaram a possuir uma importância maior na economia, por isso diversos estudos têm sido realizados para o entendimento das relações de resistência e alterabilidade de diversos tipos de rochas utilizadas como cantaria, com o objetivo de entender o modo de ocorrência e distribuição das alterações, bem como também, a necessidade de se preservar e conservar, pois a degradação ou deterioração de rochas (segundo Houaiss; Villar, 2001) são termos utilizados para se referir ao estado alterado para pior, ou seja, danificação, decomposição, estrago do material rochoso.

Em relação aos estudos para conservação e preservação de rochas ornamentais os geólogos europeus já viram nestes uma grande oportunidade para o desenvolvimento de seu trabalho, destacam-se os trabalhos ocorridos com mármore, arenitos, granitos e rochas basálticas. Países como Portugal, Itália, Espanha, entre outros tem um grande mercado de preservação e conservação de patrimônios históricos. No Brasil esse tipo de

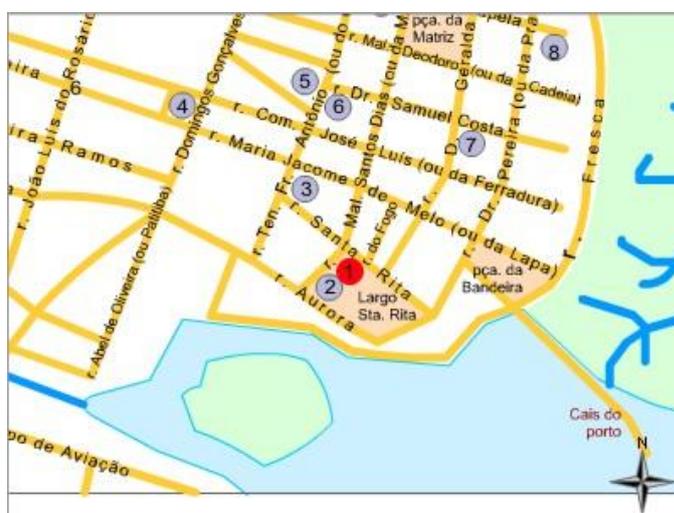
estudo ainda é pouco divulgado, podemos destacar o trabalho de Silva (2009) realizado nas quatro estátuas esculpidas em pedra-sabão do Museu da Inconfidência Mineira e os trabalhos de mapeamento em diversos monumentos históricos em São Paulo (Reys et.al. 2008).

1.2. Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a Igreja de Santa Rita (figura 1), localizada no largo de Santa Rita (figura 2), na cidade de Paraty - RJ.



Figura 1: Fachada da Igreja de Santa Rita



Legenda

- 01- Igreja de Santa Rita
- 02- Quartel da Fortaleza Patatiba
- 03- Sobrado dos Bonecos
- 04- Chafariz da Pedreira
- 05- Igreja Nossa Senhora do Rosário e São Benedito
- 06- Câmara Municipal
- 07- Casa da Cultura
- 08- Igreja Nossa Senhora das Dores

Figura 2: Localização da Igreja de Santa Rita

A igreja foi fundada no ano de 30 de Junho de 1722, e no princípio ela servia para atender os mulatos que residiam em Paraty, na época as igrejas eram criadas para atender a determinadas classes sociais; no ano de 1962 foi tombado pelo IPHAN sob número do processo 0656-T-62 (IPHAN), e a partir do ano de 1973 foi instituído como museu de arte sacra de Parati.

1.3. Objetivos e Justificativas

O objetivo deste trabalho é identificar, mapear e entender a distribuição espacial das morfologias de alteração das rochas de cantaria, além de avaliar o seu grau de alteração através de análises geomecânicas e análises químicas.

A preservação das rochas de cantaria é uma necessidade absoluta para as construções históricas e tombadas, visto que é cada vez mais difícil a eventual substituição de peças, portanto segundo Carta de Veneza de 1964 a conservação e a restauração dos monumentos históricos visam a salvaguardar tanto a obra de arte quanto o testemunho histórico e a conservação do monumento exige antes de tudo a manutenção constante.

Nas últimas décadas o interesse pela preservação e/ou conservação do patrimônio tem aumentado, o que pode ser justificado pelo fato de que patrimônio bem preservado é fonte de recursos através do turismo (Pillotto & Barroso, 2006). Além do que, compreender os mecanismos que levam a alteração das rochas é primordial para se propor medidas de restauração e/ou de conservação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geologia

Ocorrem na Igreja de Santa Rita como blocos de rocha de cantaria 03 litotipos diferentes de granitos, temos um granito maciço, um granito foliado com textura inequigranular seriada e por último um leucogranito nomenclatura esta utilizada no campo, podemos observar na tabela 1, o correspondente de cada uma destas unidades.

Tabela01: Correlação entre nomenclatura de Campo e Bibliografia.

Bibliografia	Mapeamento	Variação Composicional
Granito Parati (Fácies Porfírica inequigranular seriada)	Granito Foliado	Quartzomonzonito à granodiorito
Granito Parati (Fácies Equigranular)	Granito Maciço	Quartzomonzonito
Granito Mambucaba	Leucogranitos	granito

O plúton parati que tem dimensão batolítica e está localizado na região limítrofe entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo é constituído de litotipos graníticos quartzomonzoníticos a granodioritos (Ludka *et.al.*, 2006).

A fácies porfírica tem composição essencialmente monzonítica e apresenta textura inequigranular seriada com fenocristais de microclina de tamanhos variando entre 2 e 5 cm (Ludka *et.al.*,2006), esta unidade esta associada em nosso mapeamento aos granitos foliados.

De acordo com Ludka *et. al.* (2006), a fácies equigranular desse granito (figura 3) apresenta como composição mineralógica quartzo, plagioclásio, oligoclásio Ca, biotita, hornblenda, titanita, apatita e zircão. A rocha apresenta coloração variando de

amarelo a cinza claro e foliação, quando presente, dada pela direção de fluxo magmático. Existem amostras descritas para este granito no qual o feldspato dominante é o Ortoclásio em detrimento da Microclina; no mapeamento esta unidade está associada aos granitos maciços.



Figura 3: Fácies Equigranular do granito Parati.

Os leucogranitos que vemos na fachada correspondem aos granitos Mambucaba que afloram na costa da baía de Ilha Grande, trata-se de um muscovita-biotita granito cinza equigranular médio. Veios e apófises associadas a estes granitos cortam o Complexo Plutônico de Parati segundo Eirado *et.al.* (2006).

Podemos observar que as rochas utilizadas na construção foram retiradas do entorno da região de Parati, conforme observado no mapa geológico (figura 4).

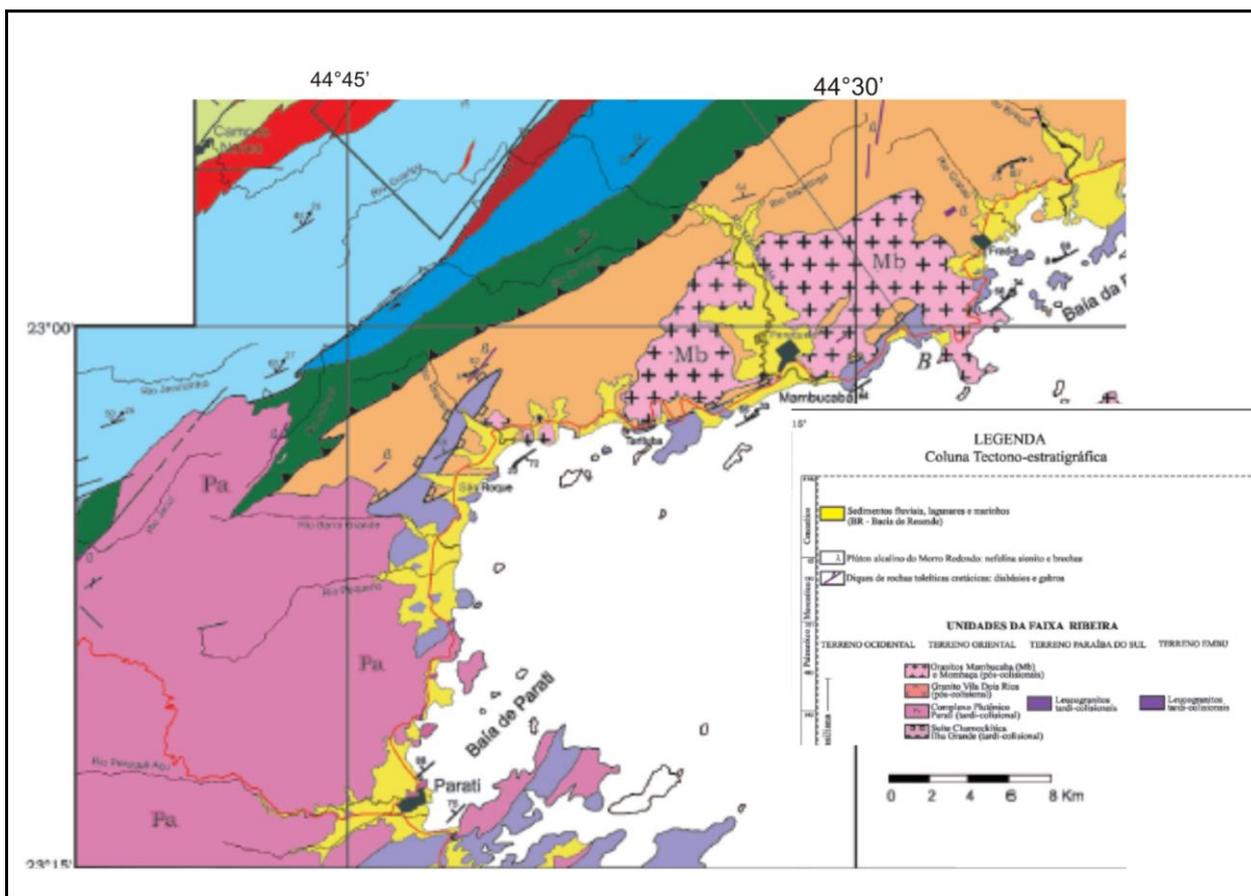


Figura 4: Mapa Geológico, modificado de Eirado *et.al.* (2006)

2.2. Intemperismo

2.2.1 Morfologias de Alteração

As morfologias de alteração representam a manifestação visível do resultado conjunto dos processos de intemperismo e também de ações antrópicas. São denominadas por alguns autores como patologias da rocha no ambiente construído.

A identificação das morfologias e o seu mapeamento nas construções são importantes passos metodológicos em estudos de conservação do patrimônio arquitetônico. Podem indicar os processos mais relevantes que conduzem à degradação das rochas, bem como as fachadas, elementos arquitetônicos e regiões da construção em estado mais crítico (Farroco, 2008).

Existem algumas classificações na literatura estrangeira, baseadas principalmente em arenitos e calcários, das quais se destacam as classificações de Urmeneta (1997), Fitzner & Henrichs (2004) e Henriques *et al.* (2005).

Urmeneta (1997) propôs a classificação desenvolvida em seu estudo na cidade de Zamora (Espanha) onde predominam arenitos e conglomerados nas construções medievais. O sistema proposto por Fitzner & Henrichs (2004), embora não seja específico para qualquer tipo de rocha, devido ao seu grau de detalhamento e complexibilidade, torna-se de difícil aplicação. A classificação proposta por Henriques *et al.* (2005), baseada em 28 formas de alteração é mais simples, porém para realização deste trabalho utilizou-se como ferramenta a tabela de morfologias de alteração proposta por Farroco (2008) na qual as morfologias são separadas por grupo, facilitando assim a compreensão e execução do mapeamento.

Trabalhos de mapeamento de formas de alteração com granitos na literatura não são muito comuns, haja vista o grande interesse e também a disponibilidade de patrimônios históricos constituídos por arenitos, calcários principalmente no continente Europeu.

Podemos aqui tomar o trabalho de Del Lama *et al.* (2009) que trata de monumentos históricos da cidade de São Paulo, alguns destes monumentos são constituídos por granitos, estes denominados de Granito Itaquera, Granito Rosa e Granito Cinza Mauá, o mapeamento foi feito usando a tabela proposta por Henriques *et al.* (2005).

A tabela 2 modificada de Del Lama *et al.* (2009), apresenta a distribuição das formas de alteração dos granitos correlatos a cada monumento analisado.

Tabela 02: Morfologias de alteração associadas à granitos, modificada de Del Lama (2009).

Monumento	Material	Formas de Alteração
A Menina e o Bezerra	Granito Itaquera	Lascagem e Paqueta
Amizade Sírio-Libanesa	Granito Rosa	Escamação, Fratura e Incrustação
Aretuza	GranitoItaquera	Lascagem
Cervantes	Granito Rosa	Mancha
Depois do Banho	Granito Itaquera	Lascagem
Duque de Caxias	Granito Mauá	Concreção, Fissura, Incrustação, Mancha e Vegetação.
Glória Imortal aos Fundadores de São Paulo	Granito Cinza	Fissura e Paqueta.
Monumento a Ramos de Azevedo	Granito Itaquera	Fissura, Fratura, Incrustação, Lascagem e Colonização Biológica
Nostalgia	Granito Itaquera	Lascagem.
Monumento às Bandeiras	Granito Mauá	Escamação, Fissura, Mancha e Vegetação
Monumento a Carlos Gomes	Granito Rosado	Alteração Cromática, Lascagem.
Obelisco da Memória	Granito Cinza	Alteração Cromática, Escamação, Fissura e Paqueta.

Segundo Del Lama *et. al.* (2009) algumas destas formas estão associadas ao ambiente, por efeito da poluição, umidade, ação de micro-organismos e intervenções realizadas, são elas as seguintes: depósito superficial, colonização biológica e eflorescência, existem também morfologias associadas à presença de algum mineral constituinte da rocha ou utilização dos produtos de limpeza. As formas de alteração diretamente ligadas ao tipo de rocha são: alveolização, escamação, lascagem, paqueta, fraturas e fissuras.

2.2.2 Avaliação Geomecânica

Na literatura existem alguns trabalhos que falam sobre a avaliação geomecânica através da utilização do esclerômetro de Schmidt fazendo referência com o grau de intemperismo das rochas, e este mede a dureza superficial da superfície sob teste e pode ser relacionado por meio de uma curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha (ISRM,1981) (figura 5) serão aqui mencionados trabalhos desenvolvidos com granitos de diferentes partes do mundo

Basu *et. al.* (2008) estudaram granitos que ocorrem no sudeste do Brasil, no estado de São Paulo, neste trabalho trata da caracterização de diferentes graus de alteração de granitos, elaborando uma classificação de alteração de rochas graníticas segundo a tabela 3 com base no sistema de classificação de Moye (1995).

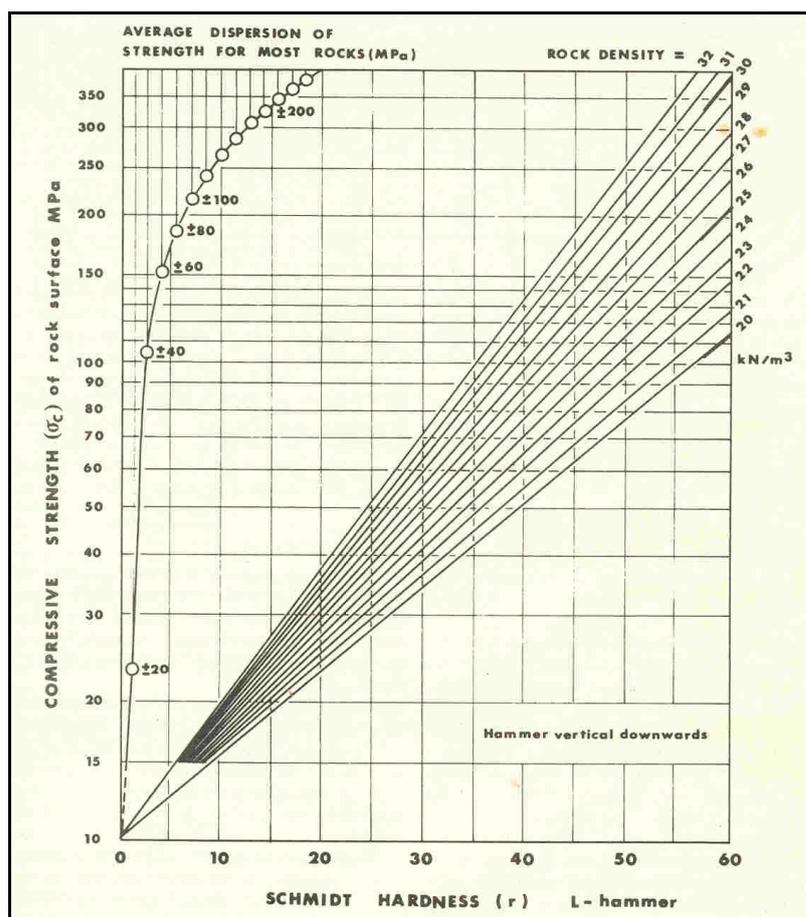


Figura 05: Curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha.

Basu *et. al.* (2008) obtiveram também uma avaliação indireta do grau de intemperismo através da utilização do esclerômetro de Schmidt, propondo intervalos de I.E. referentes a cada grau de intemperismo, conforme a tabela 4.

Segundo Hencher & Martin (1982) o martelo de Schmidt pode ser utilizado como ferramenta de índice em toda gama de intemperismo. Contudo esta afirmação pode ser contestada com base no trabalho de Basu *et. al.* (2008), onde as classes de alteração do tipo V e VI de granitos não podem ser identificadas a partir dos índices de esclerometria.

Podemos ainda citar os valores obtidos por Tugrul & Zarif (1999) para granitóides diversos da Turquia, nos quais os valores de Esclerometria estão listados na tabela 5.

Dearman & Irfan (1978) também correlacionaram valores de esclerometria com graus de alteração de rocha segundo a tabela 6.

Tabela 3: Classificação da alteração de granitos segundo Basu *et.al.* (2009)

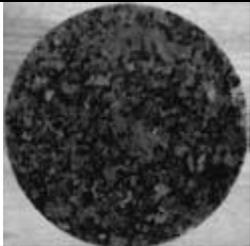
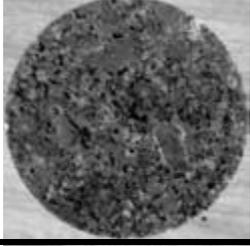
Granitos	Características	Grau de Alteração
	Sem descoloração. Grãos apresentam brilho vítreo. Textura Equigranular com contorno de grãos intacto.	I
	Leve a moderada coloração. Grãos apresentam brilho vítreo a sub-vítreo. Contorno dos grãos intacto.	II
	Grãos apresentam brilho sub-vítreo. Comuns minerais argilosos. Contorno de grãos intacto. Não é facilmente quebrada por uma martelo geológico.	II - III
	Moderadamente decomposto. Abundante quantidade de minerais de argila. Pode ser arranhada por unhas. Contorno de grãos intacto. Pode ser quebrado facilmente por um martelo geológico.	III
	Altamente decomposto (feldspatos em pó). Contorno de grãos soltos. Grandes peças podem ser quebradas com a mão. Apresentam uma alta absorção de água.	IV

Tabela 4: Correlação do grau de intemperismo com os índices de esclerometria, modificado de Basu *et.al.* (2009)

Grau de Alteração	Intervalo I.E. para martelo tipo L
I	55.38 – 51.60
II	51.98 – 46.69
II – III	48.01 – 41.76
III	42.76 – 36.24
IV	20.64

Tabela 5: Valores de esclerometria para granitos, modificado de Tugrul e Zarif (1999).

Rochas	Máximo	Mínimo	Média
Quartzo monzonito	68	70	69
Quartzo monzodiorito	61	68	64
Quartzo monzonito	63	69	68
Quartzo sienito	62	67	67
Quartzo diorito	61	66	65
Quartzo monzodiorito	63	68	66
Granito	63	67	67
Granito	69	72	72
Monzogranito	68	70	69
Granito monzogranito	69	71	70
Granito	68	71	69
Quartzo monzonito	67	71	70
Quartzo monzonito	62	65	65
Granodiorito	65	71	67
Granito	70	71	71
Tonalito	65	69	68
Granodiorito	63	65	65
Granodiorito	71	72	72
Granodiorito	70	72	71

Tabela 6: Correlação do grau de intemperismo com os índices de esclerometria, modificado de Dearman & Irfan (1978)

Grau de Meteorização	Valor do Esclerômetro de Schmidt do tipo L
São – Grau I	> 58
Coloração Parcial Grau II - III	56 – 58
Coloração Total Grau II - III	53 – 56
Grau III	45 – 53
Grau IV	20 – 45

2.2.3 Absorção de água

Na literatura o ensaio de absorção pelo método do cachimbo é usado para materiais como reboco, concretos, tijolos e argamassas, porém em nosso trabalho utilizamos os valores de absorção nos ensaios com granitos, possivelmente estes são os primeiros dados produzidos para absorção em granitos pelo método do cachimbo.

O trabalho de Souza *et. al.* (2008), revelam a utilização dos cachimbos como teste para a avaliação de eficácia de diferentes tipos de argamassa.

2.2.4 Cristalização de sais

Segundo Almeida (2000) no Brasil, a cristalização de sais é um dos maiores fatores de degradação dos materiais porosos. Os sais solúveis se instalam nos poros da pedra, cristalizam-se pelo processo de evaporação e passam do estado líquido para o sólido, expandindo-se internamente dentro dos poros e causando tensões internas. Devido aos diversos fatores causadores de umidade, os sais solúveis formam um ciclo de liquefação e solidificação contínua, provocando estresses indesejáveis na estrutura interna da pedra.

Sabe-se também que, quanto maior a concentração de poros de menores dimensões, maiores são as tensões causados por esse processo, podem originar morfologias como erosão alveolar e eflorescência (figura 6) e colaboram para desagregação granular dos blocos de cantaria.



Figura 6: Morfologias geradas pela cristalização de sais, modificado Almeida (2000).

Segundo Frascá & Yamamoto (2003) a cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois é por meio dela que ocorre a degradação de rochas em ambientes marinhos, climas úmidos e ambientes poluídos. Sua ação em um meio poroso, especialmente rochas sedimentares, causa a perda de coesão entre os grãos.

O mecanismo de degradação é a pressão de cristalização dos sais e depende do grau de saturação e do tamanho do poro (Winkler & Singer, 1972).

Segundo Frascá & Yamamoto (2003) degradações da face exposta da rocha, como inchamento, escamação, despegamento de fragmentos minerais e outros, são muitas vezes decorrentes da formação de eflorescências e subeflorescências, a partir de sais provenientes de argamassas, pelo emprego de procedimentos inadequados de assentamento.

Silva (2009) constatou a presença de sais de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no monumento estátua de bronze Depois do Banho . É provável que a formação deste sal esteja ligada aos poluentes atmosféricos, uma vez que sulfato e cálcio não são constituintes desta liga metálica. Em amostras de fuligem também foi detectada gipsita, sendo mais uma indicação que o sulfato seja oriundo de poluentes atmosféricos.

3. METODOLOGIA

3.1. Ensaio “in situ”

3.1.1 Mapeamento das Formas de Alteração

Para realização do mapeamento foram realizadas diversas visitas na Igreja, a fim de se observar e mapear as morfologias de alteração que ali ocorriam baseados no sistema de classificação das morfologias de alteração segundo as tabelas 7, 8, 9 e 10 propostas por Farroco (2008).

Para realização desta tarefa foram utilizados como instrumento fotografias da fachada frontal da igreja, acetato, caneta de retroprojeter, fita métrica, bússola, canivete, giz e paquímetro. Para um controle do mapeamento as colunas podem ser identificadas seguindo o esquema da figura 7 (A) e os blocos de cada coluna foram identificados com números, da seguinte forma: o primeiro corresponde a sua fileira, crescente de baixo para cima, e o segundo a sua coluna, sempre aumentando da esquerda para a direita figura 7 (B).

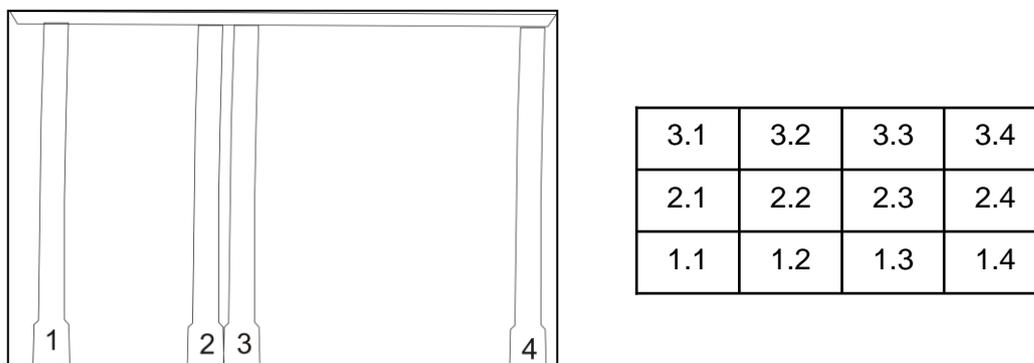


Figura 7: (a) Esquema de numeração das colunas; (b) Esquema de numeração dos blocos.

Tabela 7 : Grupo 1 - Perda de Coesão (Farroco, 2008).

Desagregação Granular	Perda de coesão do material constituinte da rocha, liberando partículas de tamanho maior ou igual a areia
Pulverização	Perda de coesão da superfície que conduz ao desprendimento do material sob a forma de pó.

Tabela 8: Grupo 2- Perda de matéria ou Perda de Massa (Farroco, 2008).

Paralela a superfície: Fragmentos achatados paralelos a superfície, com espessura e extensões laterais variáveis.	Folhas Individuais	Escama: extensão lateral sub-centimétrica e espessura menor que 0,5cm
		Plaqueta: extensão lateral centimétrica e espessura menor que 0,5cm
		Lasca: extensão lateral sub-centimétrica e espessura maior que 0,5cm
	Folhas Múltiplas	Placa: extensão lateral centimétrica e espessura maior que 0,5cm Esfoliação
Formação de Cavidades	Alveolização	Múltiplas cavidades de dimensões e geometria variadas, com área de abertura para o exterior de dimensão sub-centimétricas.
Remoção Mecânica	Antropogênica	Retirada de material rochoso de formas, dimensões e causas variadas, por ação do homem.
	Vegetação	Perda evidente de material pela ação de raízes de vegetais superiores.
	Erosão	Caracterizada pela remoção de material da superfície ou das bordas dos elementos pétreos, excetuando-se aquelas que são paralelas a superfície, e que resultam em novas superfícies de forma irregular e bordas com tendências arredondadas.
Lacuna		Perda de massa em um só evento (queda), não necessariamente relacionada a estruturas do corpo rochoso.
Perda de Argamassa: Remoção dos elementos de rejunte, por causas diversas.	Parcial	Ainda se verifica argamassa nas juntas.
	Total	A junta se apresenta aberta, podendo ter efeitos estruturais.

Tabela 9: Grupo 3 - Alterações Cromáticas e Depósitos (Farroco, 2008)

Ação de Organismos	Colonização Biológica	Microorganismos formando estratos superficiais e/ou subsuperficiais.
Eflorescência		Agregados cristalinos na superfície, de fraca coesão e cor clara.
Alteração Cromática	Pátinas	Mudança de um ou mais parâmetros da cor, em uma área ampla.
	Mancha	Mudança de um ou mais parâmetros da cor, mas em área restrita e contrastante com as cores da vizinhança.
Depósitos	Película	Depósito superficial de pequena espessura e grande continuidade lateral, cuja interface com o substrato é claramente marcada.
	Incrustação	Depósito estratiforme, compacto, em geral aderente ao substrato e composto por substâncias orgânicas
	Crosta	Parte mais exterior do material modificada por deposição de substâncias exógenas ou produtos de tratamento. Apresenta espessura variável e características distintas das encontradas no interior.
	Depósito Superficial	Resultante da acumulação de materiais estranhos na superfície, em geral pouco aderente e de fraca coesão.
	Tintas	Pixação

Tabela 10: Grupo 4 - Fissuras, Fraturas e Deformações (Farroco, 2008)

Deformação	Alteração da forma original do corpo considerado, geralmente assumindo formas côncavas ou convexas.
Fratura	Descontinuidade de superfícies do corpo rochoso gerando abertura milimétrica entre as partes fraturadas, sendo esta abertura persistente ou não. Não apresenta relação com a estrutura da rocha.
Fissura	Descontinuidade de superfícies do corpo rochoso sem abertura das partes em questão. Pode ser persistente ou não. Não apresenta relação com a estrutura da rocha.
Descolamento	Desprendimento de camadas nos planos de foliações e acamamento sedimentares.

O processamento dos dados obtidos no campo foi realizado no software Arc Gis, onde as patologias foram digitalizadas sobre a imagem da fachada e posteriormente analisadas e realizados os respectivos cálculos de área neste mesmo software.

3.1.2 Avaliação Geomecânica

Para avaliação geomecânica das rochas foi utilizado o esclerômetro de Schmidt (figura 8), também conhecido como “martelo de Schmdit”, o método consiste em submeter à superfície da rocha a um impacto de forma padronizada, usando uma determinada massa com uma dada energia e medindo – se o valor do repique, segundo Pilotto & Barroso (2006).



Figura 8: Esclerômetro do tipo L.

Para pesquisa foi empregado o esclerômetro do tipo L, cuja energia de impacto é de 0,735 Nm., o aparelho é constituído de um êmbolo em sua parte frontal que é submetido a um impacto, pela compressão da massa sobre a mola, na superfície da rocha que está sendo analisada (figura 9), posteriormente verificamos a medida de repique de uma haste metálica impulsionaada por uma mola, esta medida é o índice de reflexão, ou também chamado índice de esclerometria (I.E).

De acordo com Aydin *et. al.* (2005) o repique depende do valor da energia cinética antes do impacto, pois parte desta é transformada em calor (pela fricção mecânica do aparelho) e som e a outra parte que é absorvida na interação entre o êmbolo e a superfície da rocha. A energia absorvida está relacionada à resistência e rigidez da rocha.

Trata-se, portanto, de um ensaio que avalia a dureza superficial da rocha e a relaciona com sua resistência à compressão (Medeiros & Helene, 2007 apud Farroco, 2008).

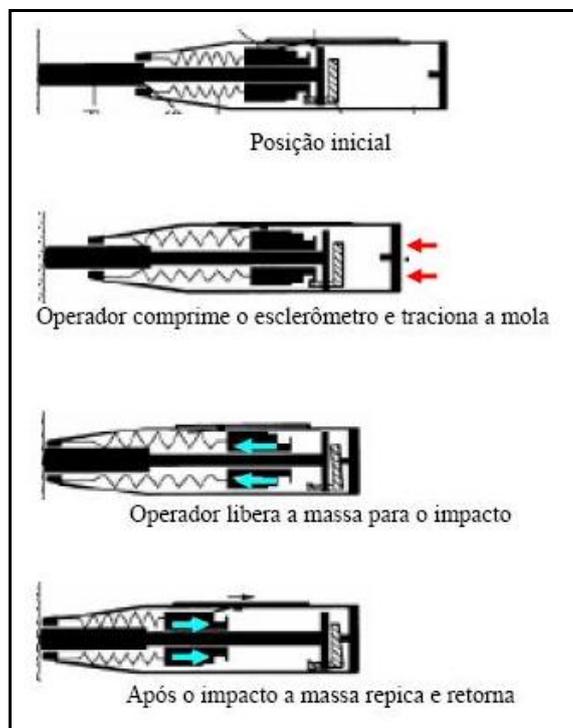


Figura 9: Esquema simplificado de funcionamento do esclerômetro.

Em cada bloco estudado fez-se uma malha quadrada regular de amostragem com 5 cm de espaçamento (figura 10). Em cada nó destas malhas foi realizado um teste com o Martelo de Schmidt. Foram elaborados mapas de contorno com o “software” SURPHER, usando a técnica da krigagem para interpolação dos dados, que serviram para avaliar o quão degradado, do ponto de vista mecânico, se encontravam os blocos de granito.



Figura 10: Malha regular para ensaio de esclerometria nos blocos.

3.1.3 Absorção de Água

Para complementação da avaliação dos dados de intemperismo foi realizado o ensaio de absorção de água pela superfície das rochas, o método escolhido para essa avaliação foi o método do cachimbo, o método avalia as condições de absorção de água pelos blocos ensaiados.

O tubo de ensaio foi desenvolvido pela organização Rilem, o Rilem Tube Test (figura 11) consiste em um tubo graduado de 0.0 a 5.0 ml com incrementos de 0.1 ml para então se poder fazer estimativas mais próximas de 0.05 ml.

O ensaio consiste na verificação da quantidade de água que infiltra nesta superfície por um determinado período de tempo, em geral, medimos de 5 em 5 minutos no 30 primeiros minutos e depois só quando atingir 60 minutos de ensaio (RILEM, 1980).

Os dados obtidos então são transcritos para tabelas do Excel e posteriormente gerados gráficos de absorção por tempo em cada bloco.

Para realização dos ensaios o método descrito por Rilem prevê o uso de massa de vidraceiro para fixação dos tubos, porém este método se mostrou ineficaz,

posteriormente testamos a fixação com durepox, este também se mostrou ineficaz na fixação, em ambos os casos ocorreram vasamentos com cerca de 25 a 30 minutos de ensaio, o método de fixação que se mostrou bastante eficaz foi a fixação com silicone, este foi o utilizado neste trabalho.



Figura 11: Tubo graduado para ensaio de absorção.

3.1.4 Rugosidade

Os blocos de cantaria da igreja apresentam uma superfície rugosa, portanto utilizamos um perfilógrafo para medir os perfis de rugosidade dos blocos. A metodologia do ensaio consiste na tomada de seções verticais e horizontais regularmente espaçadas nos blocos (figura 12).



Figura 12: Perfilógrafo usado para gerar perfis de rugosidade

Em seguida os perfis de rugosidade obtidos foram comparados com os perfis propostos por Barton, e o resultado foi correlacionado com os dados de esclerometria para os blocos ensaiados.

Barton 1977 definiu uma correlação entre os perfis de rugosidade e os valores de JRC (figura 13), foram realizados posteriormente uma comparação entre os perfis obtidos em cada bloco em ambas as direções, com os perfis de Barton.

Os valores obtidos para os perfis de JRC têm um valor qualitativo.

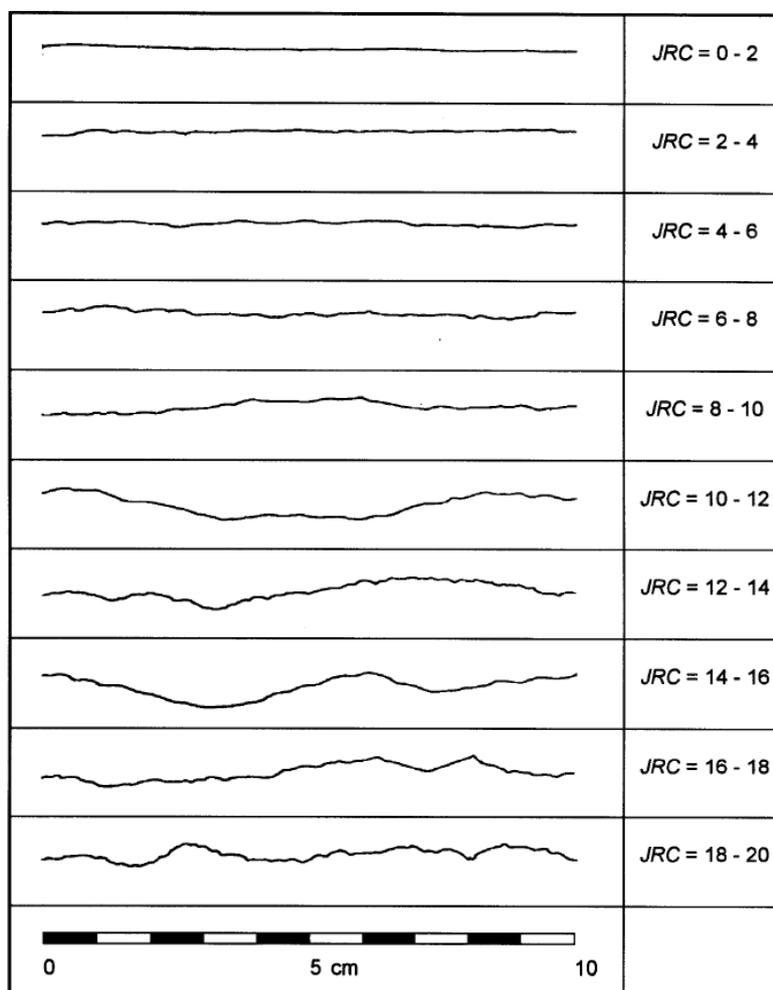


Figura 13: Perfis de Rugosidade de Barton (1977).

3.2. Ensaio de Laboratório

3.2.1 Petrografia por Luz Transmitida

A microscopia por luz transmitida foi utilizada para caracterização mineralógica de um dos litotipos de rocha; pela dificuldade na obtenção de amostra, a petrografia foi realizada em um pequeno fragmento de bloco que já estava disponível na construção.

3.2.2 Difração de raios-X (DRX)

Para caracterização e qualificação de argilominerais presente no granito foi utilizado o método de difração de raios-X. A difração de raios-X foi executada no aparelho Geigerflex Rigaku, com contador proporcional, cpu de 5K, "varredura" de 4, velocidade do papel de 40mm/min e t.c. de 1.

Na etapa de preparação das amostras em primeiro lugar foi retirado todo sal da amostra em seguidas foram preparadas duas lâminas, uma com amostra total que foi feita pelo método do gotejamento (amostra não orientada) como visto na figura 14, e a outra lâmina foi feita com a amostra somente da fração argila (amostra orientada).

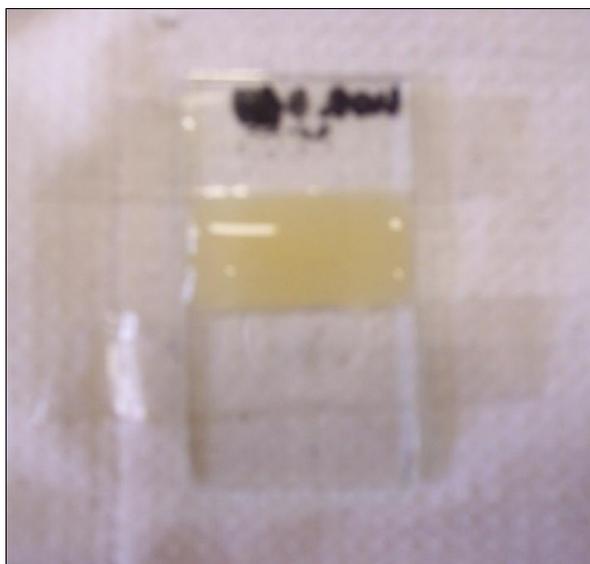


Figura 14: Lâmina feita pelo método do gotejamento.

3.2.3 Análise Iônica por via Úmida

A amostra foi submetida a teste com o reagente nitrato de prata, para verificar a presença de sais solúveis na amostra.

Na fase de preparação foi adicionada água destilada aquecida a 60° C e levado o conjunto para a centrífuga (figura 15), após isto foi testado o sobrenadante da amostra (figura 16) com o reagente.



Figura 15: Ensaio para separar sobrenadante da amostra.

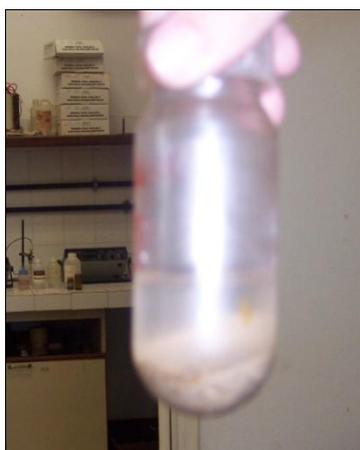


Figura 16: Sobrenadante do soluto que se concentrada no fundo.

4. Resultados

4.1. Ensaio “in situ”

4.1.1 Mapeamento das Formas de Alteração

Na tabela 11 estão listados os percentuais de ocorrência (frequência absoluta) de cada patologia. Vale ressaltar que a soma dos percentuais de ocorrência das morfologias não totaliza 100% devido ao fato de poder haver sobreposição de morfologias de alteração.

Tabela 11: Morfologias presentes na fachada da Igreja de Santa Rita.

GRUPO	PATOLOGIAS	ALTERAÇÃO DA FACHADA (%)
1	DESAGREGAÇÃO GRANULAR	*****
2	ALVEOLIZAÇÃO	5,32
	EROSÃO	5,09
	ESCAMA	0,41
	LACUNA	0,47
	PLACA	0,08
	PLAQUETA	1,1
	PERDA DE ARGAMASSA	*****
3	EFLORESCÊNCIA	*****
	COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA	*****
	MANCHA	26,35
	PELÍCULA	31,12
4	FRATURAS	0,01
	FISSURAS	0,01

Há que se destacar aqui o fato de as morfologias do tipo desagregação granular que ocorrem nos litotipos de granitos foliados principalmente, não serem contabilizadas no mapeamento e também nas figuras de mapeamento, devido ao fato da dificuldade de acesso aos blocos de cantaria para verificação da ocorrência desta morfologia, porém está é uma importante alteração que ocorre na fachada da igreja, tendo que ser levada em consideração em qualquer estudo para remediação da construção ali presente.

Os dados correspondentes à tabela 11, com relação as áreas das morfologias de alteração são apenas estimativas, isto ocorre pelo fato de não ter havido correção da distorção da imagem utilizada para mapeamento, algumas morfologias não apresentam valores pois não são representativas na escala de mapeamento.

Com relação às morfologias de alteração observadas, a mais grave no monumento é erosão (figura 17), pertencente ao grupo II, que corresponde à perda de massa ou material. Essa morfologia representa, apenas 5,09% nos cálculos, pois só foram mapeados os blocos com maior intensidade desta patologia já que esta afeta toda a fachada da Igreja.

Podemos observar plaquetas em diversos blocos, onde está se iniciando um processo de desagregação de matéria (figura 18).

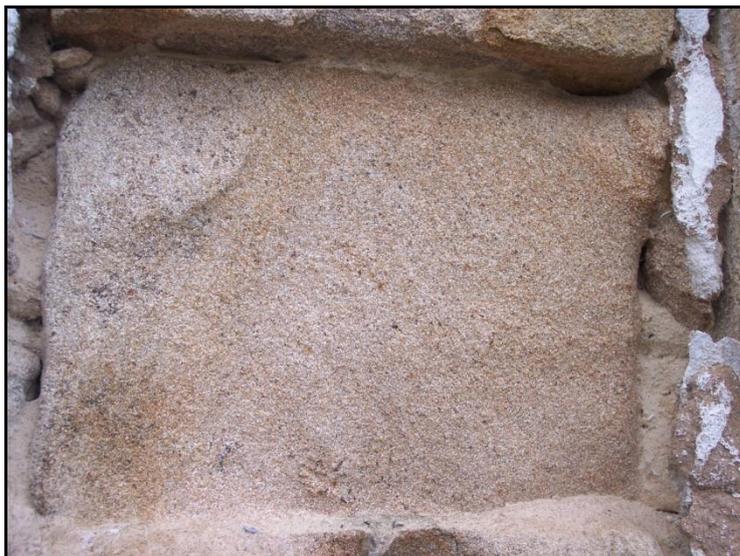


Figura 17: Bloco apresenta a morfologia do tipo erosão.



Figura 18: Bloco apresenta a morfologia do tipo plaqueta.

Vale ressaltar que a morfologia Perda de Argamassa (figura 19) está presente na maioria dos contatos entre os blocos, e de forma mais intensa na parte inferior da construção, porém é difícil de mapear pela escala do trabalho.



Figura 19: Bloco apresenta a morfologia do tipo perda de argamassa.

As morfologias fissuras e fraturas estão presentes, porém compuseram menos de 0,01% cada.

As morfologias do Grupo III, películas (figura 20) e manchas (figura 21) estão distribuídas principalmente na parte superior da construção.



Figura 20: Parte superior da igreja tomada pela morfologia película.

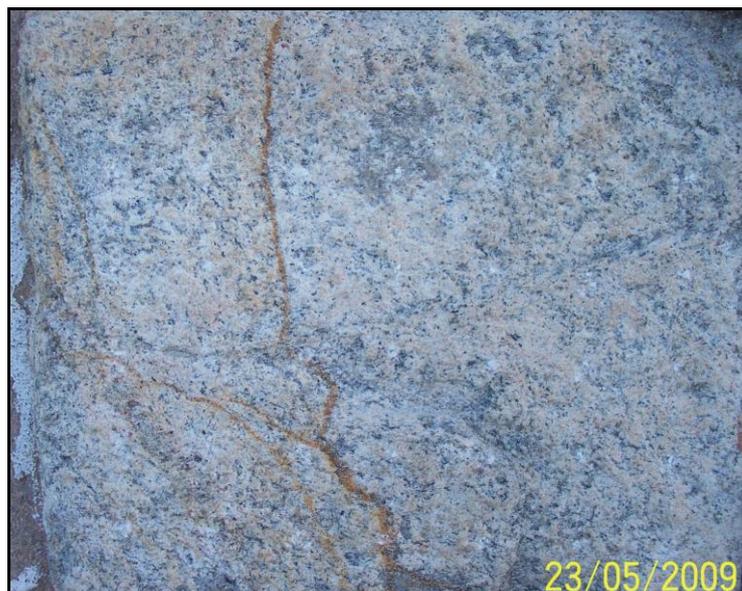


Figura 21: Bloco apresenta a morfologia do tipo mancha.

Eflorescência foi verificada, mas não é representável na escala de mapeamento, bem como a colonização biológica em alguns blocos (figura 22).



Figura 22: Bloco apresenta a morfologia do tipo erosão colonização biológica.

O resultado do mapeamento pode ser visto nas figuras 23 e 24 e 25.



Figura 23: Mapeamento realizado na Igreja de Santa Rita, referente as morfologias do grupo perda de massa ou matéria



Figura 24: Mapeamento realizado na Igreja de Santa Rita, referente as morfologias do grupo alterações cromáticas e depósitos



Figura 25: Mapeamento realizado na Igreja de Santa Rita, referentes ao total do mapeamento

4.1.2 Avaliação Geomecânica

Os dados estatísticos dos ensaios de esclerometria estão organizados na tabela 12, segundo o posicionamento das colunas. Os dados são apresentados de forma sistemática mostrando cada bloco analisado e seu respectivo número de medidas, os valores mínimos e máximos, a média calculada a partir destes valores, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 12: Dados estatísticos dos ensaios de esclerometria

COLUNA	BLOCO	NÚMERO DE MEDIDAS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
1	2.2	88	15	56	36,85	7,76	21,05
1	5.1	84	12	45	30,31	6,44	21,26
1	7.1	55	12	29	19,24	4,37	22,70
1	9.1	84	11	42	28,49	5,90	20,70
2	2.1	50	14	43	28,14	7,17	25,50
2	5.1	84	21	52	33,42	5,96	17,84
2	6.2	49	11	39	21,47	6,91	32,19
3	5.1	35	11	30	20,94	5,41	25,84
3	10.1	66	10	30	19,70	5,28	26,80
4	5.1	66	13	33	22,56	4,35	19,28

Com os dados obtidos foram produzidos mapas de contorno da distribuição dos valores de índice de esclerometria. Nos mapas, ilustrados a seguir (figuras 26, 27 e 28), podem-se ver também as dimensões de cada bloco de cantaria ensaiado (escala nas bordas do desenho). A escala de tons de marron, usada para representar os valores de esclerometria, é a mesma em todas as figuras, o que permite comparar as distribuições de valores em todos os blocos testados. Deve-se notar que os valores mais baixos de esclerometria (menor resistência da rocha) estão representados por cores mais escuras, enquanto que os valores mais altos (maiores resistências) aparecem com cores claras nos mapas de contorno.

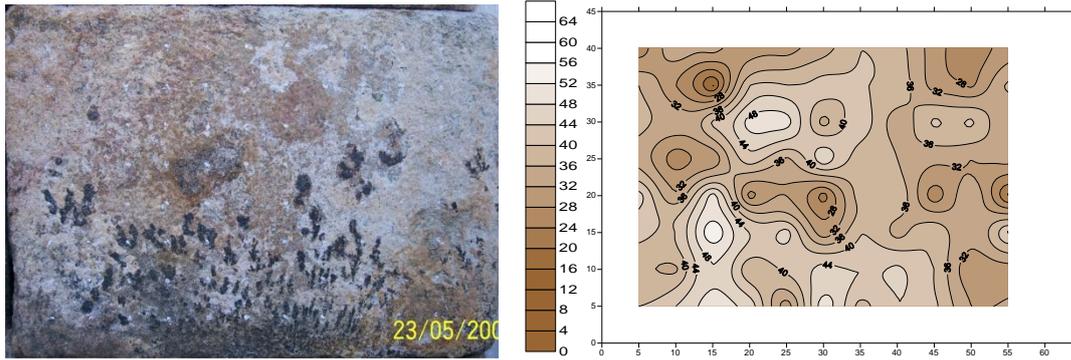


Figura 26: Mapa de contorno do bloco 2.2 da coluna 1.

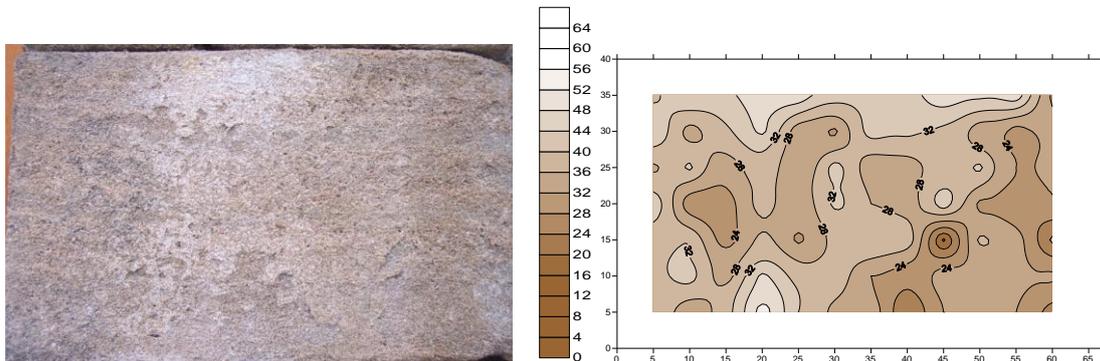


Figura 27: Mapa de contorno do bloco 9.1 da coluna 1.

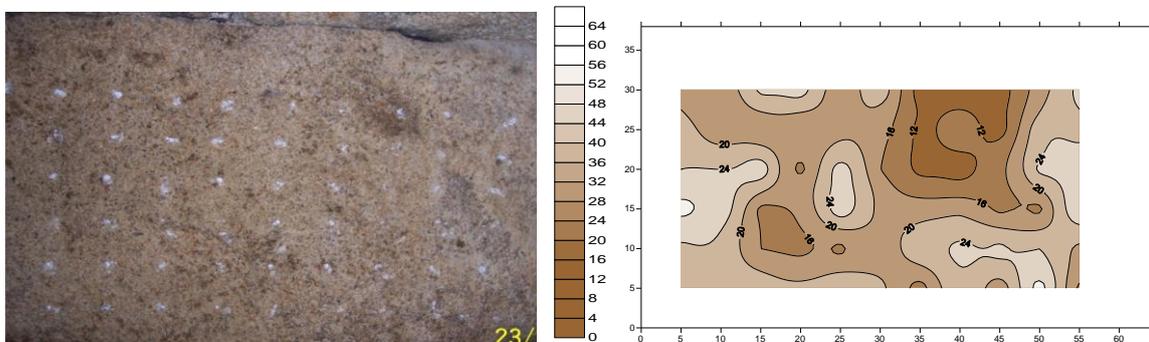


Figura 28: Mapa de contorno do bloco 10.1 da coluna 2.

Observa-se que as regiões com menores valores de resistência são coincidentes com as bordas dos blocos, que em geral encontram-se bastante erodidas e com as áreas que foram afetadas por morfologias de alteração dos grupos dois (perda de massa), pode-se perceber também que as áreas que foram afetadas pela morfologia do tipo plaqueta apresentam valores baixos de esclerometria.

Foi gerado também mapas de contorno de grau de alteração (figuras 29 e 30) em cada bloco segundo os dados de Basu et. al. (2009).

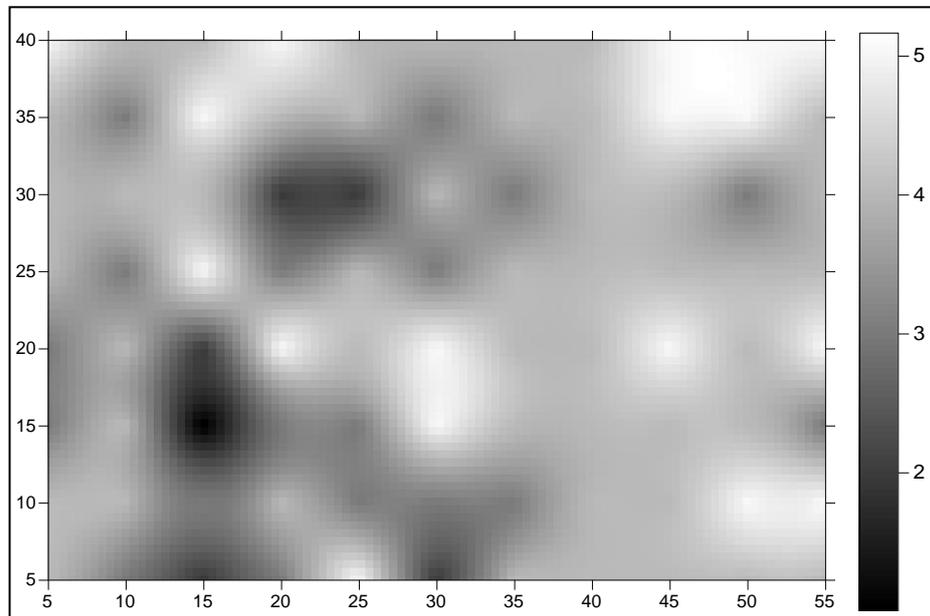


Figura 29: Mapa de contorno do bloco 2.2 da coluna 1.

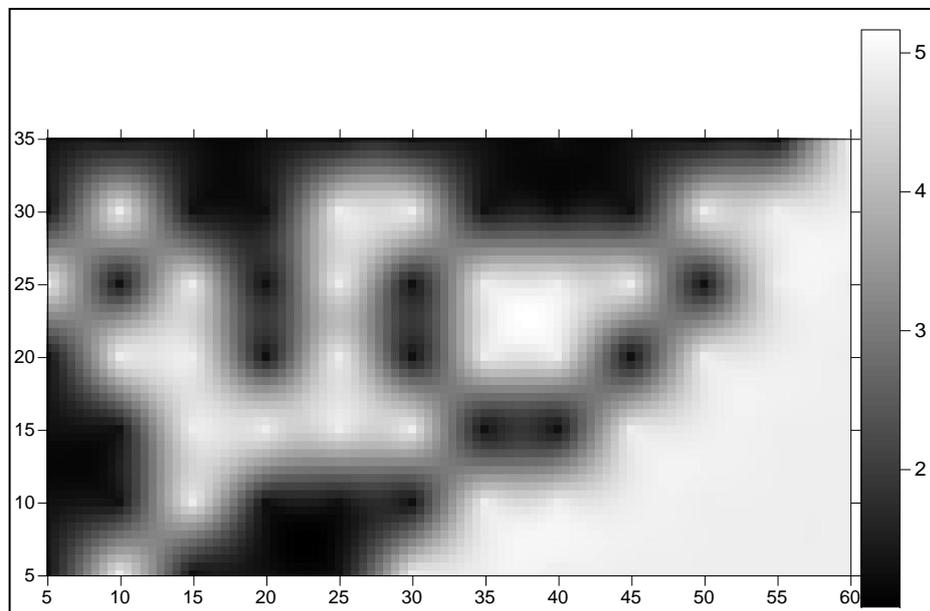


Figura 30: Mapa de contorno do bloco 9.1 da coluna 1.

Os valores de esclerometria encontrados no geral são baixos, principalmente se comparados aos valores atribuídos aos granitos da Turquia por Tugrul & Zarif (1999).

4.1.3 Absorção de Água

Os resultados observados com os ensaios de absorção dos blocos estão relatados segundo os gráficos que mostram a quantidade de água absorvida por tempo (figuras 31 e 32).

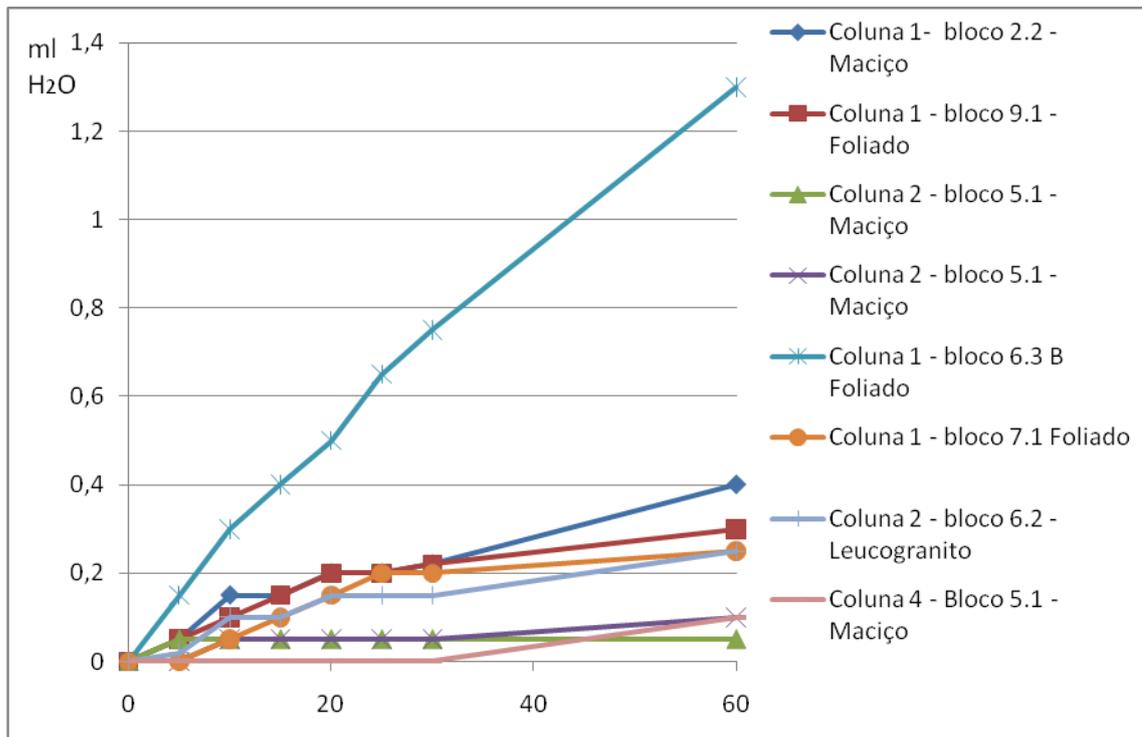


Figura 31: Comparação dos ensaios de absorção.

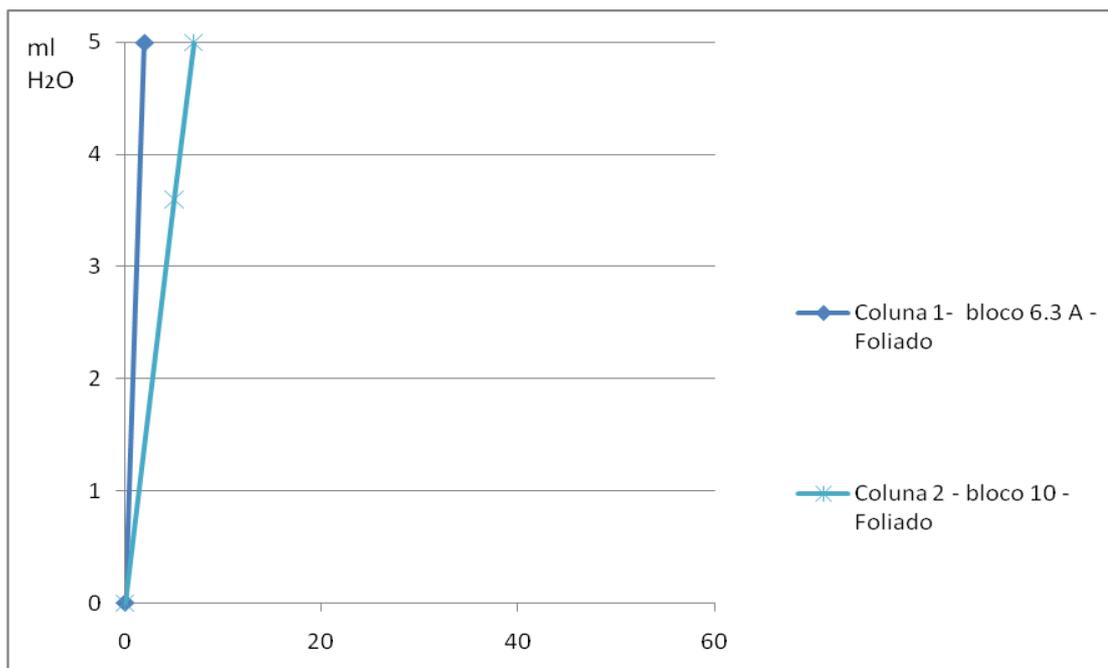


Figura 32: Comparação dos ensaios de absorção.

Pode-se observar que nos granitos foliados, que no geral estão mais alterados e erodidos, a infiltração se dá muito mais rápido que nos granitos que não estão afetados pela erosão, o que evidencia o fato que esta morfologia tem um papel importante na absorção de água pelos granitos.

4.1.4 Rugosidade

Os perfis de rugosidade gerados mostram uma avaliação qualitativa para a rugosidade dos blocos ensaiados conforme os dados da tabela 13.

Tabela 13: Dados estatísticos do ensaio de rugosidade

COLUNA	BLOCO	DIREÇÃO	MEDIDAS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1	5.1	X	24	7,13	3,4
1	5.1	Y	28	6,36	2,6
3	5.1	X	21	9,14	3,55
3	5.1	Y	12	9	3,1

Posteriormente os dados obtidos para os perfis de rugosidade foram comparados com os dados de esclerometria e correlacionados entre si, conforme análise dos dados das médias de ambos os ensaios que se encontram na tabela 14.

Tabela 14: Correlação dos dados de rugosidade e esclerometria

COLUNA	BLOCO	MÉDIA ESCLEROMETRIA	MÉDIA JRC
1	5.1	30,31	7,1
1	5.1	30,31	6,3
3	5.1	20,94	9,1
3	5.1	20,94	9

Os resultados demonstram que existe uma correlação entre os dados de esclerometria e rugosidade uma vez que comparado os valores médios dos ensaios, no bloco onde a erosão é

menor e conseqüentemente a rugosidade apresenta um valor médio mais baixo, o valor de esclerometria é mais alto, ou seja é uma relação inversa entre a esclerometria e a rugosidade

Na figura 33 podemos observar onde foram realizados os ensaios “in situ” (esclerometria, absorção e rugosidade), os blocos foram escolhidos com o critério de ter pelo menos um ensaio em cada tipo de granito, e também em realizar – se num mesmo tipo de granito ensaios em blocos com diferentes graus de alteração, principalmente relacionado à presença de erosão.



Figura 33: Localização dos ensaios “in situ”

4.2. Ensaio de Laboratório

4.2.1 Petrografia por Luz Transmitida

A análise de lâminas delgadas (figura 34) em microscópio de luz transmitida nos permitiu a observação dos minerais presentes na composição do bloco da coluna 1 bloco 6.2 foi possível classificá-la como um Granodiorito segundo Streckeisen (1976). A tabela 15 nos mostra a composição modal normalizada da amostra.

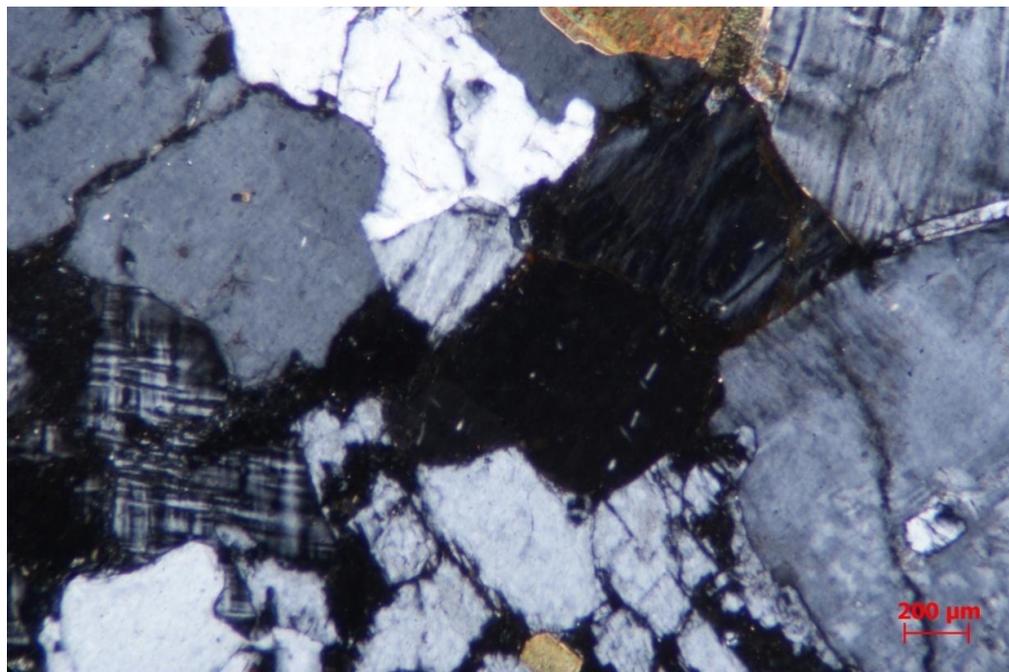


Figura 34: Lâmina Petrográfica.

Tabela 15: Composição modal da amostra.

Minerais	% na Rocha
Quartzo	52%
Plagioclásio	38%
Microclina	10%

4.2.2 Difração de Raios – X

Os resultados estão apresentados nas figuras 35 e 36, e mostram que para rocha total a amostra apresentou um feldspato (microclina), enquanto que para análise feita somente com a fração argila não foi identificada a presença de argilomineral.

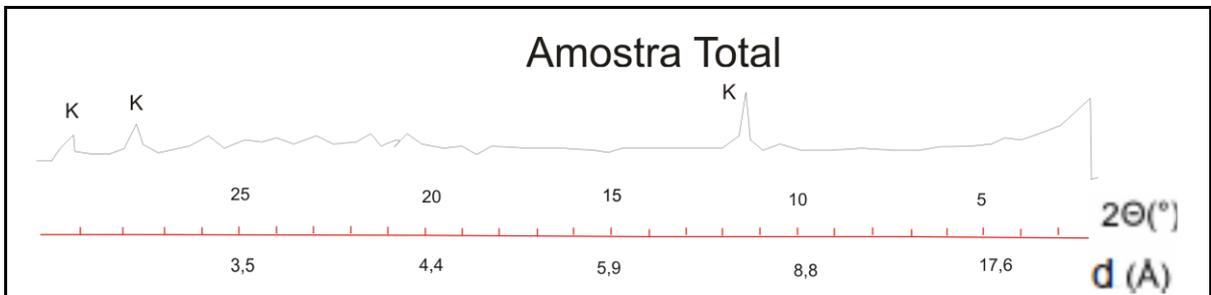


Figura 35: Difratograma da amostra total. Legenda: K = Feldspato.

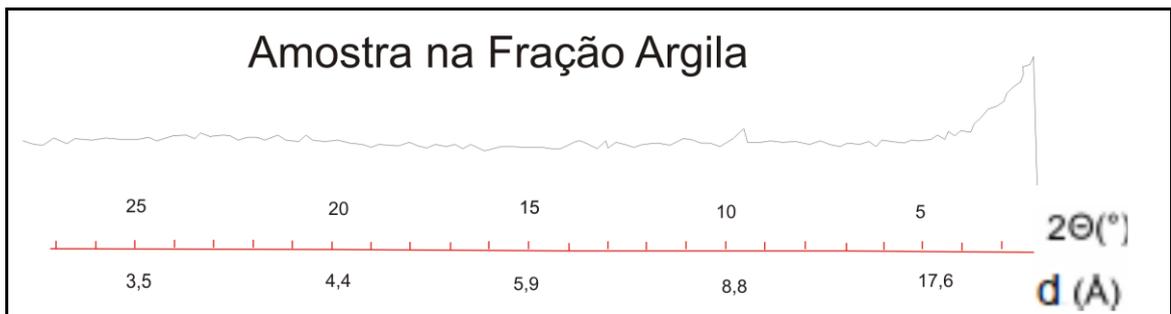


Figura 36: Difratograma da fração argila.

Observa-se com a análise dos difratogramas observa-se que não há presença de argilominerais neoformados.

4.2.3 Análise Iônica por Via Úmida

Os testes do sobrenadante da amostra de granito foliado da coluna 1 bloco 6.2 com o reagente nitrato de prata resultou na formação de cloreto de prata (figura 37), evidenciando o que se esperava que ocorresse a influência de uma névoa salina sobre a construção.

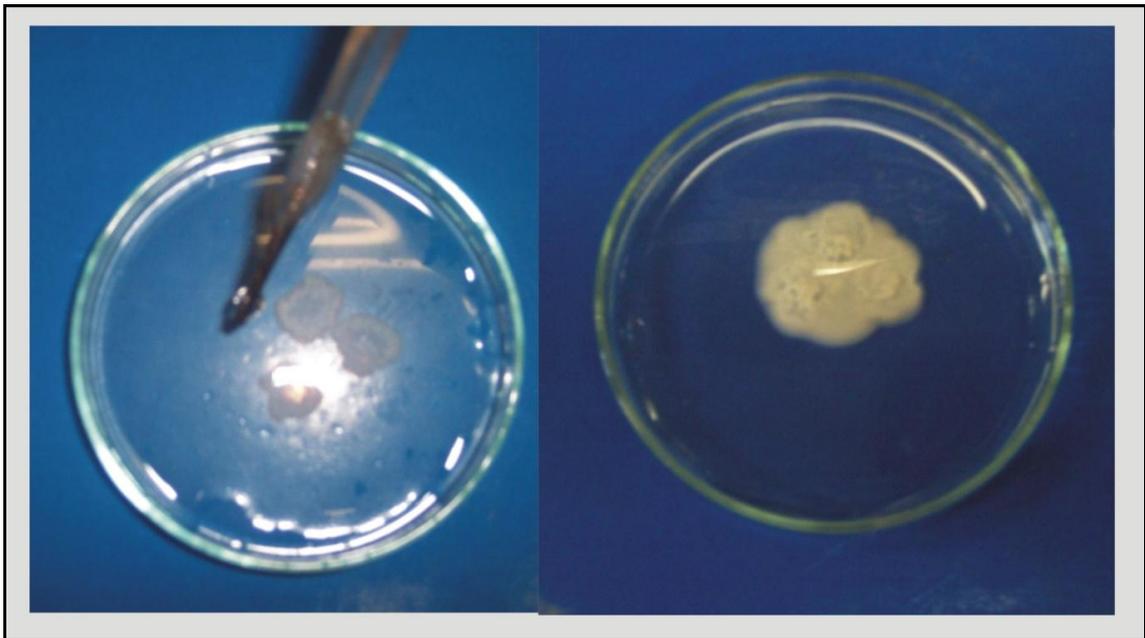


Figura 37: Precipitado de sal

5. Conclusões

As seguintes conclusões gerais podem ser apresentadas como contribuição deste trabalho de conclusão de curso à temática da alteração e degradação de rochas em granitos da Igreja Santa Rita:

- ✓ O Grupo I (Perda de Coesão) ainda que presente com a morfologia de desagregação granular não está representado, pela dificuldade de acesso aos blocos para se poder fazer o mapeamento desta morfologia
- ✓ Os grupos de patologias mais relevantes são aqueles dos grupos II (Perda de Matéria) e III (Alterações Cromáticas e Depósitos).
- ✓ Os valores podem até parecer baixos da ordem de 5%, porém no caso de perda de massa existem blocos que estão quase que totalmente erodidos causando um problema estrutural à construção e no caso de manchamentos e películas somadas cerca de 52% da área dos blocos está afetada e com isso as rochas perdem um dos motivos pelo qual foi escolhido para fazer parte da construção que é o estético.
- ✓ Dentre as morfologias do Grupo II destacam-se fortemente as plaquetas e as erosões. Essas morfologias são particularmente preocupantes porque levam à perda de massa. É importante salientar, que a continuidade desse processo pode levar, em casos extremos, à necessidade de substituição parcial ou integral dos blocos de cantaria.
- ✓ O Grupo III apresentou-se de forma mais freqüente nas partes altas da fachada. Dentre as morfologias observadas, destacam-se a formação de películas e manchas.
- ✓ O Grupo IV (Fissuras, Fraturas e Deformações) representa um percentual desprezível em todas as fachadas.

- ✓ As lacunas entre os blocos devidas à remoção da argamassa de assentamento podem levar a acentuadas variações de umidade no interior, com sérios prejuízos ao acervo do atual Museu de Arte Sacra.
- ✓ Os biofilmes se desenvolvem principalmente em locais com placas e plaquetas, onde os mesmos estão abrigados da ação erosivas dos ventos e das chuvas, e podem receber a iluminação para se proliferarem através dos cristais translúcidos de quartzo.
- ✓ Os valores de esclerometria são mais baixos nos litotipos de granito foliado, porque esses litotipos estão associados à morfologia de erosão.
- ✓ Verifica-se efeito de borda na alteração, ou seja, as extremidades dos blocos apresentam valores mais baixos de esclerometria. Curiosamente, este fato parece reproduzir a padrão clássico de esfoliação esferoidal comumente descrito para o intemperismo de granitos.
- ✓ Os mapas de contorno de índices esclerométricos não refletem a presença de fraturas e fissuras da forma como ocorre para os gnaisses do Rio de Janeiro (Farroco et. al. 2008). É provável que a causa deste fato seja a intensa desagregação granular/erosão largamente distribuída na superfície dos blocos.
- ✓ Com relação aos mapas de alteração, embora com a ressalva de que os dados de correlação da literatura são de outros granitos (Basu *et. al.*, 2009), este exercício mostrou que é possível fazê-lo desde que se tenham dados geomecânicos das rochas do local.

- ✓ Os mapas de alteração revelam que a distribuição das classes de alteração não se distribui de forma homogênea nos blocos de cantaria.
- ✓ Quando aos dados de absorção, foi possível observar que os blocos de cantaria de rocha afetados pela erosão apresentaram maiores valores de absorção. Isto se deve ao fato de as rochas dos blocos erodidos sofrerem processos de desagregação em seu “fabric”, aumentando o volume de vazios disponíveis para a absorção de água.
- ✓ Os perfis de rugosidade mostram que não existe uma direção preferencial de intemperismo (anisotropia de rugosidade). Quando correlacionados com os dados de esclerometria revelam que valores mais baixos de esclerometria correspondem a uma rugosidade mais alta, as quais se desenvolvem nos blocos de cantaria afetados pela erosão.
- ✓ As transformações químicas e mineralógicas, apesar do ambiente em que estão inseridas as rochas, são apenas incipientes. Dados de difração de raios-X não apresentaram a formação de argilominerais neoformados, sendo o pico no ensaio da amostra total resultante de um feldspato.
- ✓ A ausência de alteração / transformação mineral acentuada (petrografia e DRX) mostram que o intemperismo físico é o principal componente da degradação das rochas.
- ✓ O processo de cristalização de sais solúveis nas rochas pode ser o principal responsável pela desagregação física das mesmas, tornando-as suscetíveis ao processo de erosão.

- ✓ Os dados de ensaios são coerentes entre si e indicam que locais da fachada necessitam de tratamento / restauração imediata. As principais intervenções devem ser de: tratamento de manchas e películas, consolidação das cantarias de rocha erodidas e recomposição da argamassa de assentamento dos blocos.

6. Propostas para Trabalhos Futuros

O presente trabalho se focou no entendimento e caracterização das alterações dos granitos que constituem as rochas de cantaria, nos ensaios químicos para verificação de evidências sobre o grau de intemperismo e na avaliação geomecânica dos blocos de rocha ali presentes.

Observa-se na em prédios ao lado da Igreja, que também apresentam os blocos de granito em suas colunas uma tentativa de remediação em alguns blocos que foram afetados pela erosão (figura 36 e 37), porém podemos observar que a estética não foi respeitada, bem como também o estudo de traço da argamassa entre os blocos não foi feito.



Figura 36: Tentativa de remediação do bloco erodido.



Figura 37: Tentativa de reconstrução do bloco

Dito isto, alguns pontos precisam ser analisados em uma nova etapa de trabalho da construção, haja vista o fato de não ter sido sugerido algum tipo de remediação e tratamento para os blocos já afetados e aqueles que estão começando um processo de alteração. Portanto algumas sugestões para trabalhos futuros são aqui listados:

- ✓ O estudo do traço original da argamassa de assentamento entre os blocos de rocha para sua imediata recomposição.
- ✓ Estudo para verificação do melhor tipo de consolidante a ser aplicado nos blocos de rocha que estão desagregando, com a finalidade de interromper este processo que culmina com a erosão das rochas.
- ✓ Avaliação dos melhores procedimentos para tratamento e/ou remoção de manchas, películas e crostas.

- ✓ Estudo do biofilme que está presente em alguns blocos de rocha através da utilização do MEV e técnicas de cultura in vitro.
- ✓ Fazer estudo do tipo de sal presente nos blocos através de MEV e cromatografia iônica.
- ✓ Os ensaios de absorção utilizando o método do cachimbo, embora forneça valores numéricos, devem ser entendidos como qualitativos. São úteis para a comparação da absorção entre blocos de cantaria para os quais os ensaios foram realizados em uma mesma época. O resultado final é dependente das condições iniciais de saturação da rocha por isso, sugere-se a interpretação da permeabilidade saturada não-saturada da rocha.

7. Bibliografia

- ALMEIDA, F. (2000). Manual de Rochas de Cantaria. Programa Monumenta, IPHAN.
- AYDIN, A, BASU, A. (2005) The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology* 81:1–14
- BARTON, N. (1998). Descontinuidades. In: Oliveira & Brito (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE.
- BASU, A.; CELESTINO, T.B.; BORTOLUCCI, A.A. Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades In: *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2008.
- CARTA DE VENEZA. Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro de Monumentos e Sítios. 1964.
- DEARMAN W.R. & IRFAN T.Y. (1978). Assessment of the degree of weathering in granite using petrographic and physical index tests. *Proc. Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*, Paris, pp 1–35
- DEL LAMA E.A.; DEHIRA, K.L.; REYS, A.C. Visão geológica dos monumentos da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. v.39. 2009.
- EIRADO, L.G; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H. Os terrenos tectônicos da faixa ribeira na serra da Bocaina e na baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. v.36. 2006.
- FARROCO, V.S. O Mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria através de análises químicas, físicas e mineralógicas: Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, UFRJ. 2008. 63p.

- FITZNER, B. & HEINRICHS, K. Photo atlas of weathering forms on stone monuments. 2004. Disponível em: <<http://www.stone.rwth-aachen.de>>. Acesso em: 25 jun. 2009.
- FRASCÁ, M.H.B.O. & YAMAMOTO, J.K.; Ensaio de alteração acelerada em rochas para revestimento – estudos experimentais em rochas graníticas. In: IV Simpósio de Rochas Ornamentais, Fortaleza, 2003. 165p – 172p.
- HENCHER S.R., MARTIN R.P. (1982) The description and classification of weathered rocks in HongKong for engineering purposes. Proc. 7th SE Asian Geotech. Conf., Hong Kong, pp 125–142
- HENRIQUES, F. M.A.; RODRIGUES, J. D.; BARROS, L.A. PROENÇA, N. Materiais Pétreos e Similares: Terminologias das formas de alteração e de degradação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2005.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. (2001) Dicionário Houaiss da língua portuguesa. Rio de Janeiro. Instituto Houaiss. 2922p.
- ISRM, Rock characterization, testing and monitoring. Suggested methods. In.: BROWN, E. T. Ed. London, Pergamon Press. 211 p. 1981.
- LUDKA, I. P.; MENDES, J. C.; RIBEIRO, Roberto Baldanza. Contraste Geológico, mineralógico e geoquímico entre os granitos porfíricos Silva Jardim e Parati, centro-sul do Estado do Rio de Janeiro. In: 43 Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracajú. Anais do 43º CBG. São Paulo : SBG, 2006. v. 1. p. 253-253.
- MOYE, D. G. 1955. Engineering geology of the Snowy Mountains scheme. Journal of the Institution of Engineers of Australia, 27, 281-299.
- PILOTTO, D. & BARROSO, E.V. 2006. Avaliação da Degradação de Rochas de Cantaria Usando o Esclerômetro de Schmidt. In: IV Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/COBRAMSEG. 4: 2497-2502.

REYS, A.C.; DEL LAMA, E.A.; DEHIRA, L.K. Monumentos da cidade de São Paulo: formas de alteração e conservação. In: Revista CPC, São Paulo, n. 5, p. 93-122, nov. 2007/abr. 2008

RILEM. "Water absorption tube test". Test N°II.4, Paris, 1980.

SILVA, M.E.; Deterioração – estátuas do museu da inconfidência mineira, Ouro Preto. In: XI Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, 2009. Resumo, São Pedro, P.114.

SOUZA, R.H.F.; Comparative Study of more usable mortars in rendering building facades, In: XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 2008.

STRECKEISEN, A. L., 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1976, H. 1, 1-15.

TUGRUL, A., ZARIF, I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng. Geol. 51, 303–317.

URMENETA, M. A.; Valoración del deterioro y conservación em la piedra monumental. Espanha-Madrid. 1997. 269p.

WINKLER, E.M.; SINGER, P.C. (1972) Crystallization pressure of salts in stone and concrete. Geological Society of America Bulletin, v.83, p.3.509-3.514.

Sites:

IPHAN, disponível em <http://portal.iphan.gov.br>, acessado no dia 20/05/2010 às 19:00 hs.

Google, disponível em <http://maps.google.com.br>, acessado no dia 15/05/2010 às 15:32 hs.

THOMAZ, E.C.S. Notas de Aula, disponível em <http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro.pdf>, acessado em 15/05/2010 às 18:00 hs.