

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DE PLACAS DE ROCHA EM**  
**FACHADA:**  
Estudo de Caso

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNICAP  
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE  
POR

**LAVÍNIA DE VASCONCELOS XAVIER COELHO**

**Recife, Abril de 2006**

**LAVÍNIA DE VASCONCELOS XAVIER COÊLHO**

**AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DE PLACAS DE ROCHA EM**

**FACHADA:**

Estudo de Caso

Dissertação de Mestrado apresentada como exigência à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pela Universidade Católica de Pernambuco, sob a orientação da Profa. Dra. Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira e co-orientação do Prof. Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho.

**Recife, Abril de 2006**

C672a Coêlho, Lavínia de Vasconcelos Xavier  
Avaliação da alteração de placas de rocha em fachada:  
estudo de caso / Lavínia de Vasconcelos Xavier Coelho;  
orientador Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira,  
2006.

133 f. : il

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de  
Pernambuco. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,  
2006.

1. Materiais de construção. 2. Fachadas. 3. Rochas.  
4. Revestimentos. I. Título.

CDU 691.2

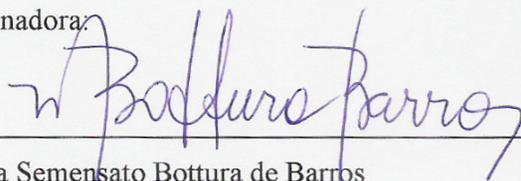
# UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – PROESPE  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

LAVÍNIA DE VASCONCELOS XAVIER COÊLHO

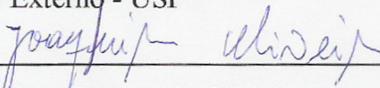
## AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DE PLACAS DE ROCHA EM FACHADA: Estudo de Caso

Banca examinadora:



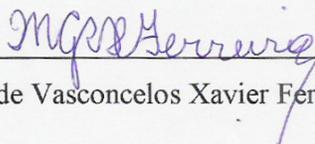
Mércia Maria Semensato Bottura de Barros

Examinador Externo - USP



Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Examinador Interno



Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira

Orientadora

Aprovada em 05 de abril de 2006

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Eunice e Edinaldo.

Às minhas irmãs, Leila e Lílian.

À minha sobrinha, Isabela.

À pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Universidade Católica de Pernambuco pelo suporte laboratorial e de pesquisa, principalmente aos funcionários e professores envolvidos no Mestrado de Engenharia.

Do mesmo modo, merecem meu apreço os colegas de turma do Mestrado: Leonardo, Gilberto, Carlos, Wallace, Ronaldo e Benigno, e especialmente Sérgio, pelo estudo de caso da dissertação, e Eliane, suporte de todas as horas.

Sou grata também a todos os colegas de profissão que me ajudaram na coleta de material, de maneira particular ao Prof. Ângelo Just, ao Eng. Fabiano Antunes e a Prof<sup>a</sup>. Risale Neves.

Agradeço também ao apoio incondicional que me foi dado pelos escritórios de arquitetura aos quais estou vinculada, sobretudo a Gabriela Mafra, a Roseane Lopes e especialmente a Maria do Loreto Wanderley, a quem devo meus primeiros passos na arquitetura.

Reconheço a especial atenção a mim dedicada, e a qual sou imensamente agradecida, pelo meu co-orientador, Arnaldo Cardim, principalmente no Estágio de Docência, no qual foi meu orientador.

Agradeço ainda a minhas amigas, presentes em todos os momentos, e em nome dessas reitero a minha amizade a todos os outros amigos. Obrigada Marília, Marcela, Regina e Mônica. Deus lhe proteja Giovanna, onde você estiver.

Sou grata a minha orientadora e tia Maria da Graça Ferreira pelo incentivo e empenho no processo seletivo e no decorrer desse mestrado, e também a seu marido, tio Fernando, até mesmo pelo apoio fotográfico. Muito obrigada.

Minha gratidão é imensa à minha família, especialmente a minha avó Eunice que nunca mediu esforços para me ajudar, e aos meus avós já falecidos Aluísio, Angélica e Pedro pela estrutura familiar que me permitiram desfrutar. Obrigada a tios, tias e todos os primos inclusive os afins.

Obrigada minhas irmãs Lê e Li... Suportaram meus maus momentos, e, ainda assim, me quererem bem. Amo vocês. A propósito, o agradecimento se estende aos meus cunhados Rubem e Gustavo. E claro, a Belinha, que trouxe novo ânimo ao término desse trabalho.

Obrigada paiinho pelo suporte e torcida em toda a minha vida. Obrigada mainha por me chamar à razão, indicar-me o caminho, e dividir comigo as conquistas. Amo muito vocês.

Obrigada Deus pelo cumprimento de mais esta etapa.

## EPÍGRAFE

A construcção bem executada depende muito do conhecimento exacto do material com que é edificada; porque ha construcções que exigem condições particulares, conforme o material que se emprega; e tambem ha materiaes que podem e devem empregar-se somente em determinadas construcções.

(César de Rainville - **O vinhola brasileiro**: novo manual pratico do engenheiro, architecto, pedreiro, carpinteiro, marceneiro e serralheiro, 1880, p.2)

## RESUMO

O revestimento de uma fachada é em si um sistema de complexa resolução. Envolve uma série de variáveis como concepção de projeto, especificação de materiais, execução e manutenção. E, mesmo com todos os aspectos bem atendidos, não se pode determinar a vida útil do sistema, pois o meio tem forte interferência na sua durabilidade. O uso de rochas ornamentais como elemento de revestimento é outro item que necessita de atenção, uma vez que as rochas têm composição não controlável, são anisotrópicas em relação à resistência, são normalmente instáveis frente às intempéries e, quando em placas, suas espessuras têm sido reduzidas, fragilizando-as e diminuindo a proteção ao corpo da edificação. O presente trabalho trata de um estudo de caso onde foram usadas placas de rocha (200x400x10 mm) do granito 'cinza andorinha', fixadas por ancoragem química com auxílio de grampos, em uma região com alta umidade, grande insolação, sujeita à névoa marinha e a poluição, Região Metropolitana de Recife. Através do método proposto por Lichtenstein (1986) foi feita a vistoria da fachada, na qual foram encontradas diversas patologias como deslocamento, infiltração e oxidação de grampos, e as placas de granito apresentavam alteração química, física e biológica, como mudança de tonalidade, cristalização de sais, eflorescência, oxidação de minerais, desagregação, fissuração e ataque por microorganismos. Como resultado, foram tecidas as seguintes considerações sobre a fachada: método construtivo, enfatizando a importância do projeto (especialmente do detalhe construtivo); especificação de materiais compatíveis às situações as quais são submetidos; execução e manutenção. Também a alteração do granito foi analisada. Aspectos como mudança de composição (oxidação da biotita) e da microestrutura (cristalização de sais) foram estudados com o intuito de contribuir para um uso mais racional deste material de construção específico.

Palavras-chave: material de construção, alteração de rocha, fachada.

## ABSTRACT

A facade coating is, by itself, a system of complex solution. It envelops a series of variables such as project conception, material specification, execution and maintenance. And, even with all aspects well attended, one can not determine the system useful life, because the environment has a strong influence in its durability. The use of dimension stones as coating element is another item that needs attention, since rocks have an uncontrollable composition, are anisotropic regarding resistance, are normally unstable before inclemency of the weather and being tile its thickness has been reduced, weakening them and diminishing protection to the building body. This work is about a case study where granite tiles (200x400x10 mm), commercially named "cinza andorinha" have been used, fixed by chemical anchorage, held by clamps, in a region with high humidity, high insolation, subjected to sea mist and pollution, Recife (PE) metropolitan region. Through the method proposed by Lichtenstein (1986) it was made a facade inspection and several pathologies were found, such as tile fall, infiltration and clamps oxidation and the granite tiles presenting chemical, physical and biological alteration such as change in color, salt crystallization, efflorescence, mineral oxidation, disaggregation, cracking, and microorganism aggression. As a result, the following considerations were done about the facade: constructive method, emphasizing the project importance (specially the constructive detail); material specification in compatibility with the situation subdued; execution and maintenance. Likewise, the granite alteration was analyzed. Features as change in composition (biotite oxidation) and in microstructure (salt crystallization) were studied aiming to contribute for a more rational use of this specific building material.

Keywords: building material, rock alteration, facade.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.01 – Representação esquemática dos vários tipos possíveis de ensaios tecnológicos referentes ao estudo da alterabilidade/durabilidade de uma rocha (2005) .....	65
QUADRO 3.02 – Parâmetros usuais de avaliação da qualidade de uma rocha ornamental para uso como material de revestimento (2005) .....	66

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.01 – As relações entre índice de cor, teor de sílica, composição mineralógica e ambiente de cristalização para rochas ígneas mais comuns (excluindo as alcalinas) (2000) .....	44
FIGURA 4.01 – Mapa climatológico simplificado do Brasil (1978) .....	71
FIGURA 4.02 – Mapa de insolação anual (1931/1990) .....	71
FIGURA 4.03 – Mapa de temperatura mínima anual (1931/1990) .....	72
FIGURA 4.04 – Mapa de temperatura máxima anual (1931/1990) .....	73
FIGURA 4.05 – Mapa de precipitação anual (1931/1990) .....	73
FIGURA 4.06 – Mapa de umidade relativa anual (1931/1990) .....	74
FIGURA 4.07 – Trocas de calor ao meio dia de um dia de verão. (A espessura das flechas corresponde às quantidades adequadas) (1998) .....	75
FIGURA 4.08 – Movimento do ar perto de uma massa de água (1998) .....	76
FIGURA 4.09 – Modelo de movimento do ar no entorno de um edifício (1998) .....	77
FIGURA 4.10 – Modelo de movimento do ar no corte de um edifício (1998) .....	77
FIGURA 4.11 – Identificação da fachada em análise – Norte (2006) .....	80
FIGURA 4.12 – Identificação da fachada em análise– Leste (2006) .....	81
FIGURA 4.13 – Identificação da fachada em análise – Sul (2006) .....	82
FIGURA 4.14 – Identificação da fachada em análise – Oeste (2006) .....	82
FIGURA 4.15 – Aplicação de placa de rocha no parapeito (2004) .....	84
FIGURA 4.16 – Manchas nas placas de rocha do granito ‘cinza andorinha’ (2004) .....	85
FIGURA 4.17 – Manchas nas placas de rocha do granito escuro (detalhe fachada Sul) (2004) .....	85
FIGURA 4.18 – Placas com manchas por oxidação de grampos (2004) .....	86
FIGURA 4.19 – Oxidação de minerais do granito (2004) .....	86
FIGURA 4.20 – Manchas por eflorescência (2004) .....	87
FIGURA 4.21 – Estalactites resultado da eflorescência (2004) .....	87

FIGURA 4.22 – Fissuração das placas de rocha (2004) .....	88
FIGURA 4.23 – Acabamento entre a fachada e a viga de bordo (2004) .....	89
FIGURA 4.24 – Drenagem do ar condicionado (2004) .....	89
FIGURA 4.25 – Manchas provocadas por colônias de microorganismos (2004) .....	90
FIGURA 4.26 – Infiltração na parede interna da escada (2004) .....	90
FIGURA 4.27 – Aplicação de juntas de dilatação horizontais na fachada (2004) .....	91
FIGURA 4.28 – Reposição de placas na fachada (2004) .....	92
FIGURA 4.29 – Retirada do rejunte (2004) .....	93
FIGURA 4.30 – Detalhe dos vazios existentes sob as placas (2004) .....	93
FIGURA 4.31 – Água represada sob as placas (2004) .....	94
FIGURA 4.32 – Recolhimento da água armazenada sob as placas (2004) .....	94
FIGURA 4.33 – Deslocamento na fachada Sul (2004) .....	95
FIGURA 4.34 – Deslocamento na fachada Oeste (2004) .....	95
FIGURA 4.35 – Área com deslocamento – substrato, argamassa e placa (2004) .....	96
FIGURA 4.36 – Espessura da argamassa de assentamento (2004) .....	97
FIGURA 4.37 - Espessura da argamassa de assentamento (2004) .....	97
FIGURA 4.38 – Vazios entre a placa e o substrato (2004) .....	97
FIGURA 4.39 – Argamassa com preenchimento do tardez em diferentes camadas (2004) .....	98
FIGURA 4.40 – Mancha delimitando a aplicação da argamassa (2004) .....	98
FIGURA 4.41 – Alterações de cor e textura na superfície da placa (2004) .....	99
FIGURA 4.42 – Alterações provocadas pela oxidação dos grampos (2004) .....	99
FIGURA 4.43 – Conjunto de fatores desencadeadores das patologias da obra.....	104
FIGURA 5.01 – Placas manchadas frente-e-verso (2004) .....	108
FIGURA 5.02 – Desagregação dos minerais na superfície da placa (2004) .....	108

FIGURA 5.03 – Minerais alterados por oxidação (2004) .....	110
FIGURA 5.04 – Composição da rocha. Nícois cruzados. Ampliação 4x (2005) .....	111
FIGURA 5.05 – Composição da rocha. Nícois paralelos. Ampliação 4x (2005) .....	112
FIGURA 5.06 – Alteração da Biotita. Nícois cruzados. Ampliação 4x (2005) .....	113
FIGURA 5.07 – Alteração da Biotita. Nícois paralelos. Ampliação 4x (2005) .....	113
FIGURA 5.08 – Plagioclásio + Carbonato. Nícois cruzados. Ampliação 4x (2005) .....	114
FIGURA 5.09 – Plagioclásio + Carbonato. Nícois cruzados. Ampliação 10x (2005) .....	114

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.01 – Exemplos de composição média de rochas ígneas consolidadas a partir de magmas graníticos, andesíticos e basálticos (valores em % em peso) (2000) .....	45
TABELA 3.02 – Valores para a escolha e apreciação de pedras naturais segundo a DIN 52 100 (1998).....	46
TABELA 3.03 – Ensaio petrográficos e tecnológicos (1998) .....	48
TABELA 3.04 – Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego (2002) .....	49
TABELA 3.05 – Agentes de ruína da pedra (1998) .....	60
TABELA 4.01 – Dados de clima (2003) .....	72
TABELA 4.02 – Dados geográficos e climáticos do Recife (2006) .....	74
TABELA 4.03 – Propriedades do granito ‘cinza andorinha’ (2006) .....	79

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 Objetivos e meta .....	19
1.2 Delimitação do Tema .....	19
1.3 Método .....	21
1.4 Estrutura da dissertação.....	22
2 FACHADA E MATERIAIS DE REVESTIMENTO .....	24
2.1 Fachada .....	24
2.2 Funções da fachada .....	25
2.3 Materiais de revestimento de fachada .....	27
2.4 Projeto e execução de fachada .....	32
2.5 Patologias usuais de fachada .....	35
3 ROCHAS .....	39
3.1 Rochas Graníticas .....	41
3.2 Caracterização .....	43
3.3 Resistência Físico-Química .....	45
3.4 Técnicas de Assentamento .....	49
3.5 Alterabilidade da rocha .....	55
3.6 Normas e ensaios .....	64
4 ESTUDO DE CASO: A OBRA .....	70
4.1 Climatologia regional .....	70
4.1.1 Características climatológicas gerais .....	70
4.1.2 Considerações .....	75
4.2 Caracterização da Obra .....	78
4.2.1 Localização e características gerais .....	78
4.2.2 Descrição das fachadas .....	80
4.2.2.1 Fachada Norte .....	80
4.2.2.2 Fachada Leste .....	81
4.2.2.3 Fachada Sul .....	81
4.2.2.4 Fachada Oeste .....	82
4.3 Histórico e análise das patologias .....	83
4.3.1 Manifestação do problema .....	83
4.3.2 Vistoria .....	83
4.3.3 Anamnese .....	91
4.3.4 Exames complementares .....	92
4.4 Diagnóstico .....	100
4.5 Conduta recomendada .....	104
5 ENSAIOS .....	106
5.1 Ensaios não destrutivos .....	107
5.2 Ensaios destrutivos .....	110
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	115
6.1 Revestimentos de placas de rocha granítica em fachada.....	115
6.1.1 Método construtivo .....	117
6.1.2 Especificação de materiais .....	119

6.1.3 Projeto .....	121
6.1.3 Execução .....	122
6.1.4 Manutenção .....	123
6.2 Rocha granítica.....	125
6.3 Sugestões para trabalhos futuros .....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios do surgimento humano, a sua necessidade de proteção, seja dos animais ou das intempéries, o impulsionou em busca de um abrigo. No decorrer dos tempos a idéia de proteção e conforto do ser humano foram acrescentadas outras necessidades como solidez, resistência, durabilidade e beleza do abrigo. A determinação da posição ocupada pelo indivíduo na sociedade passou a se refletir em suas moradias: obras suntuosas, materiais de impacto e/ou de alto valor financeiro, identificam o poder aquisitivo dos proprietários.

A indústria da construção civil teve de acompanhar esta mudança. Novos materiais surgiram... Novas técnicas foram implementadas... Evoluíram... Ou não. A humanidade absorveu toda essa pesquisa, adaptando-a as suas regiões, necessidades e poder de compra. E com os materiais de construção para revestimento não foi diferente.

Os homens primitivos revestiam suas cavernas com pinturas e desenhos (rupestres) onde contavam suas caçadas e suas jornadas diárias, adornando e identificando suas habitações. Para maior proteção do frio, eram usadas as peles de animais.

Mas a escassez de alimentos os levou a outros campos, outras edificações, e outros revestimentos. Materiais naturais foram utilizados como a palha, o barro, os pigmentos naturais, a madeira e os materiais silicosos. A descoberta das cerâmicas abriu um vasto campo de uso, bem como a fundição de ligas metálicas.

A inquietação humana, porém, é constante: técnicas de execução foram aperfeiçoadas como, por exemplo, com a madeira. Primeiro os troncos eram amarrados com fibras vegetais

ou couro, depois veio o encaixe, a colagem com resinas, os pregos e parafusos, a prensagem. E assim com os outros revestimentos.

As rochas, alvo do presente trabalho, são usadas desde o surgimento humano, denominando até uma etapa da história: a “Idade da Pedra”. Até hoje, são utilizadas como estrutura, como fechamento, como embasamento, em compósitos e em revestimentos. Nesta última opção pode ser encontrada sob forma de chapa, placa, laje ou ladrilho, com acabamentos diversos como o polido, o apicado, natural, flamejado, possibilitando o recobrimento de superfícies diversas.

Esta vasta gama de possibilidades de uso do material, aliadas às novas técnicas de lavra, ao seu valor comercial acessível a poucos e à sua beleza única, fizeram com que as rochas, especialmente as conhecidas comercialmente como granitos e mármore, fossem bem aceitas pelo mercado, sendo associadas às obras nobres.

Gössel e Leuthäuser (2001) afirmam que “em 1951, Gottfried Semper citou um técnico de construção daqueles tempos: consoante a bolsa do cliente, o canteiro punha [...] painéis de arenito, mármore ou granito na fachada e prendia esse revestimento com grampos de ferro à alvenaria e aos pilaretes”.

Os pressupostos antigos tiveram que ser revistos para adequação às novas exigências de mercado e de materiais: a espessura das placas foi reduzida, os grampos passaram a ser inoxidáveis, as argamassas de assentamento foram industrializadas absorvendo melhor as movimentações de fachada e surgiram as “fachadas ventiladas” pela técnica dos dispositivos metálicos.

Entretanto, apesar de toda pesquisa realizada para resolver problemas pontuais de aplicação de placas de rocha em revestimentos, em grande parte das obras da Região Nordeste do Brasil há problemas de má execução e falta de detalhes construtivos, debilitando o material.

Segundo Gehbauer (2002) “Os materiais que compõem o revestimento como emboço, reboco, pintura, cerâmicas e outros, através de suas propriedades físicas e químicas, terão influência decisiva na durabilidade da construção, no conforto e salubridade dos ambientes internos e nos custos de manutenção da edificação...”.

Por outro lado Williams, Turner e Gilbert (1954, tradução nossa) afirmam: “as placas de rocha são de difícil domínio devido a fatores não controláveis por serem material natural”. Assim, os dados mensurados de porosidade, dilatação, resistência e composição devem ser vistos como indicadores e não em seu valor absoluto.

Aliadas às variáveis intrínsecas dos materiais naturais, estão às condições climáticas da região, cujas chuvas frequentes e altas temperaturas são interferências constantes nas obras locais. Cabe registrar ainda a presença da névoa salina devido à região marinha, dos ventos predominantes (Nordeste, Leste, Sudoeste), da grande insolação na face poente (Oeste) e da poluição atmosférica, por se tratar da Região Metropolitana de uma grande capital no Nordeste do Brasil.

Essa conjunção de fatores foi responsável pela redução da vida útil da fachada de uma edificação localizada na Região Metropolitana de Recife, objeto do presente estudo, onde

foram encontradas várias patologias, incluindo a alteração de uma das rochas aplicadas como revestimento.

### **1.1 Objetivos e meta**

O objetivo geral dessa dissertação é avaliar qualitativamente o desempenho de placas de rocha usadas como revestimento das fachadas de uma edificação vertical e diagnosticar as patologias presentes, segundo a conjunção de fatores: o meio de exposição agressivo; a técnica de assentamento utilizada; as especificações e detalhamentos construtivos; e a execução.

Os objetivos específicos são:

- revisar a bibliografia relacionada ao tema proposto: fachada; revestimento de fachada; petrografia de rochas graníticas; alteração de rochas;
- avaliar qualitativamente o uso de placas de rochas graníticas, por sistema aderente, em revestimento de fachada;
- identificar as patologias geradas nas placas de rocha analisadas.

A meta é contribuir para o uso adequado de placas de rocha como revestimento de fachada, em especial, sob condições climáticas adversas, racionalizando o uso e minimizando o desperdício, até porque se trata de um recurso natural não renovável.

### **1.2 Delimitação do tema**

O campo de aplicação de rochas na construção civil é bastante amplo, cabendo a elas espaço em qualquer uma das fases do processo construtivo. Entretanto, as rochas expostas ao

ar livre são aquelas que estão sujeitas a maior alteração. Este trabalho trata então deste tipo de aplicação: rochas para revestimento, onde há maior vulnerabilização do material pétreo por agentes físicos, químicos e biológicos.

As rochas para revestimento podem ser subdivididas segundo vários condicionantes: quanto à gênese; segundo a composição mineralógica; através da localidade de extração (de onde surge a denominação comercial); a tipos de cortes (blocos, chapas, placas, entre outros); quanto a dimensões das peças e pelas técnicas de aplicação.

Foram consideradas, nesta pesquisa, somente rochas de composição silicática, denominadas comercialmente granito, não obstante o fato de que as rochas carbonáticas também serem muito utilizadas para revestimento (os chamados mármore). A opção pelo granito se deve a utilização do material em obras de alto valor comercial na região, ainda sem o devido conhecimento do desempenho do material, ocasionando diferentes patologias como as abordadas por Maranhão (2002).

Quanto à dimensão e ao corte da peça, foi pesquisado o comportamento de placas com as seguintes dimensões: 200x200 mm e 200x400 mm. São bons exemplos para referenciar, pois têm ampla superfície de contato tanto com o substrato quanto com o meio externo, e ainda permitem, com a sua pouca espessura, o acompanhamento das alterações de face a face.

Dentre os métodos de aplicação, o aderente por argamassa colante ainda é bastante utilizado, principalmente com auxílio de grampos, apesar das Normas Brasileiras já delimitarem seu uso até 15 metros de altura.

O estudo de caso eleito na presente dissertação caracteriza o uso de rocha granítica cujo nome comercial é 'cinza andorinha', sob a forma de placas de 10 mm de espessura, em superfícies verticais, assentadas com argamassa convencional colante, e rejunte industrializado. Foram analisadas as patologias e alterações que ocorreram com o material assentado em condições de grande agressividade do meio.

### **1.3 Método**

A pesquisa foi desenvolvida em três fases, a partir das necessidades impostas: revisão bibliográfica, pesquisa de campo e ensaio.

A primeira etapa consistiu na construção do conhecimento sobre o tema em questão sob forma de revisão bibliográfica. Foram pesquisados dados sobre o assunto na literatura nacional e internacional, também em meio eletrônico, além da participação em eventos ligados ao tema.

Em um segundo momento foi realizada a pesquisa de campo pelo método desenvolvido por Lichtenstein (1986) para edifícios que apresentem patologias. Nele, estuda-se o problema de acordo com o seguinte cronograma: manifestação do problema, vistoria, anamnese, exames complementares, diagnóstico e conduta recomendada. A manifestação do problema retrata a resposta da edificação inclusive às condições de exposição a que está submetida. A vistoria consiste em uma análise inicial, "in loco", sobre o estado geral da edificação. A anamnese é a coleta de dados adicionais. Posteriormente são realizados os exames complementares, como retirada de amostras, para enfim se produzir um diagnóstico que leva à conduta recomendada.

O exame petrográfico foi conduzido a fim de se conceber um diagnóstico mais preciso sobre a mineralogia da rocha e sobre a alteração sofrida.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

O primeiro Capítulo é uma breve introdução sobre o tema, delimitando-o e sintetizando-o para um prévio conhecimento do trabalho. Nele os objetivos são especificados, bem como abordados o método adotado na pesquisa e suas diferentes fases de elaboração. Por fim, há uma explanação geral sobre a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2, “Fachada e Materiais de Revestimento”, abordará o tema de fachadas. Serão explicitados sua função e seu valor numa edificação, comercialmente, e seu papel na sociedade. Posteriormente serão vistos os revestimentos adotados na elaboração de uma fachada, as fases de projeto e de execução, finalizando com as principais ocorrências patológicas.

No Capítulo 3 as rochas serão discutidas. Caracterizar-se-ão as rochas graníticas, definindo suas propriedades. Depois, serão descritas as técnicas de assentamento das placas de rocha e analisar-se-ão os tipos de alteração a que estão sujeitas. Serão abordadas normas e ensaios para seleção do material a ser especificado.

O estudo de caso será explicitado no Capítulo 4. Abordar-se-ão as condições climáticas gerais da área, e, em consequência da localização geográfica da edificação, serão tecidas algumas considerações. Em seguida, a edificação será dissecada através de descrição de suas fachadas. Então será analisado o histórico das patologias em suas diferentes fases:

manifestação do problema, história e anamnese, diagnóstico para enfim se concluir com a conduta recomendada.

No Capítulo 5 será descrita a alteração da rocha examinada, através de comparação qualitativa em ensaios não-destrutivos (exames macroscópicos e análise fotográfica) e destrutivos (análise petrográfica de partes sãs e alteradas) realizados com o revestimento. Serão analisados os resultados dos mesmos para posteriores considerações.

Para finalizar, no Capítulo 6 serão feitas as considerações finais acerca de fachadas revestidas em placas pétreas, da metodologia de projeto, do método construtivo, da execução, e de alteração em rochas, baseados neste estudo de caso.

## 2 FACHADA E MATERIAIS DE REVESTIMENTO

Diante do tema a ser analisado, faz-se necessário uma explanação geral sobre a importância da fachada e dos materiais de revestimento em uma edificação. A abordagem será feita de maneira decrescente, partindo do macro - a fachada - passando pelos materiais de maneira individual, para posteriormente se alcançar o micro - a estrutura da rocha.

### 2.1 Fachada

A visão é, geralmente, o sentido humano responsável pelo primeiro impacto de um elemento sobre as sensações. É através dela que são formulados os julgamentos iniciais sobre o material observado, sejam eles condizentes ou não com a realidade. Esta verdade está expressa na sabedoria popular: “quem vê cara não vê coração”. O que é visível pode gerar fascínio ou repulsa acerca de um objeto ou ser.

Na natureza encontram-se vários exemplos onde a avaliação visual do exterior de um ser vivo induz a conclusões distintas da realidade. Por exemplo: a faculdade de mudar de cor do camaleão permite a ele se misturar à paisagem, não ser visto e assim se proteger; o colorido da cauda do pavão o destaca entre os demais e atrai atenções; os espinhos repelem os predadores que cobiçam a beleza das rosas; a forma do escorpião amedronta e livra pessoas do seu veneno. Em todos os campos, o apelo visual tem grande valia, principalmente em sociedades consumistas, onde há a tendência de se classificar tudo e todos pela aparência, levando à conclusões sobre a essência do ser.

Igualmente ocorre com as edificações. O aspecto externo exerce um papel de grande importância no valor venal de um imóvel, seja ele o do entorno, seja ele o da própria

edificação. Entorno bem cuidado significa higiene, organização e segurança. Construções belas trazem a sensação de bem estar, e se elas possuírem materiais nobres e/ou formas arrojadas simbolizarão avanço, crescimento e poder, refletindo na hierarquia social. Edificações com estas características é privilégio de classes abastadas, por isso são bastante valorizadas comercialmente.

Para o engenheiro e doutor Jonas Medeiros, em palestra ministrada na Universidade Católica de Pernambuco no dia 18/08/2005, “a fachada é o cartão de visitas do investidor, do arquiteto e da construtora”. Portanto, fachadas proclamam o interior. Fachadas identificam seus proprietários. Fachadas vendem imagem.

São, assim, imagináveis os grandes investimentos feitos em obras singulares, referenciais e majestosas: há um público ávido por este segmento da construção. Com todo esse apelo pela imagem, segundo palestra proferida pelo arquiteto Ruy Othake no Congresso do IBRACON (2005) a fase de revestimento de fachada pode custar de 5% a 15% do montante geral da obra, um custo que é absorvido pelo público de alta renda quando se trata de uma fachada imponente.

## **2.2 Funções da fachada**

Apesar do enfoque dado ao aspecto visual, as fachadas aglutinam outros papéis e funções mais importantes e por isso merecedores de destaque: proteção adequada, vedação, facilidade de manutenção e higiene, hígidez e segurança.

A proteção dada pela fachada pode ser vista sob diferentes ângulos, especialmente sob a ótica da função de pele: proteger o interior (estrutura e elementos de vedação, como por

exemplo a alvenaria) dos agentes externos (no caso em questão, das intempéries como vento, insolação e chuvas, e de agentes agressivos como a poluição, microorganismos e a névoa marinha). Para que haja esta proteção, é necessário o uso de materiais resistentes, técnicas de aplicação eficazes que maximizem o desempenho do material, resultando inclusive em segurança.

É conveniente ressaltar que segurança diz respeito também à integridade física do usuário. Portanto, o revestimento deve ser uma barreira física, resguardando a obra, e seu desgaste não pode constituir um risco para o usuário. A falência de um revestimento ou de um material de fixação que venha a cair pode representar um acidente com risco de morte, onde os danos são incomensuráveis.

Uma boa vedação em uma fachada significa dizer que foram usados, além de materiais inertes, uma mão de obra competente e detalhes construtivos adequados, diminuindo a possibilidade de patologias. A higiene e a facilidade de manutenção são retratadas através da especificação de materiais resistentes nas situações a que serão expostos, exigindo apenas manutenções profiláticas periódicas. Com isso a sanidade do revestimento poderá ser prolongada. Às vezes, a relação custo/benefício pode indicar a substituição de um material, seja pela maior durabilidade, seja pela facilidade de inspeção e de manutenção.

Para Olgyay (1998, tradução nossa), há ainda o aspecto de isolamento térmico. Afirma: “Todos os impactos térmicos devem transpassar a pele externa do edifício antes de afetar as condições de temperatura interior”. O isolamento térmico é indispensável para as condições de bem estar do usuário, e precisa ser contabilizado como condicionante de projeto, bem como o isolamento acústico, responsável pela privacidade do ambiente.

Enfim, todas as nuances do projeto de uma fachada têm que ser bem estudadas a fim de que cumpra com integridade a função desejada, uma vez que nela é empregado um valor bastante significativo do orçamento e há uma responsabilidade legal e com o ambiente muito grande. É como afirmam Coêlho, Ferreira e Carvalho F<sup>o</sup> (2005) “É importante entender que a construção causa impactos permanentes para ambos: para o local de implantação da edificação e para às áreas relativas à aquisição de material”. Portanto, o desempenho da fachada poderá ser mais expressivo dependendo do projeto, da especificação dos materiais de construção, das devidas técnicas construtivas e da mão-de-obra contratada.

### **2.3 Materiais de revestimento de fachada**

O ramo da pesquisa que trata de microestruturas dos materiais tem gerado conhecimentos originais acerca do desempenho dos mesmos. A aplicação destes estudos na área da construção civil, seja através de ensaios, seja pela análise de comportamento em campo, tem identificado novas características nos materiais, e com isso outros usos. Os materiais de revestimento sofreram franca evolução técnica e conseqüente desempenho. Entretanto, qual é fundamentalmente a função do revestimento?

Associa-se comumente o uso de revestimentos ao aspecto estético, entretanto este é apenas um dos fatores a serem considerados. Segundo Souza e Mekbekian (1996) “As principais funções de um revestimento de fachada são proteger a alvenaria e a estrutura do edifício contra a ação da água (estanqueidade) e permitir que o acabamento final resulte de acordo com o projeto arquitetônico”.

Frazão e Paraguassu (1998), vão além quanto às funções do revestimento.

- “Manter os aspectos estéticos ao longo do tempo;

- promover isolamento (ou conforto) térmico na edificação;
- proteger as estruturas do intemperismo;
- facilitar a limpeza e manter a higidez no ambiente”.

O papel do revestimento em uma edificação, por vezes, se confunde com o da própria fachada e envolve uma série de condicionantes. Por isso, tem que haver um estudo aprofundado para a escolha do material certo para cada situação uma vez que não é só o conhecimento das condições climáticas da região, da implantação da obra no terreno, das características do material a ser empregado e da técnica a ser utilizada, que vai ser capaz de permitir que uma fachada trabalhe satisfatoriamente. A qualidade da mão-de-obra, o processo de construção e os detalhes construtivos propostos podem comprometer toda a previsão anterior.

É preciso que o revestimento seja considerado como um sistema com características próprias formado pelo material e pelos componentes de fixação do mesmo. Tem que absorver os impactos externos e internos (choques mecânicos, vento, movimentação da estrutura, recalques de fundação, entre outros), que são refletidos em tensões, e dissipá-los sem levar prejuízo à integridade da edificação.

Dentre as normas que regem a aplicação de revestimento em fachadas, algumas são peculiares ao tipo de revestimento adotado (ex: para revestimento cerâmico, rochas, entre outros). Entretanto uma é fundamental a qualquer projeto: a NBR 6123 (1988), denominada “Forças devidas ao vento em edificações”. Essa norma trata das tensões e efeitos provocados pelo vento em edificações, portanto tem importância capital em fachadas de grande altura e tem que ser observada para a correta especificação de um material.

Encontram-se no mercado, várias possibilidades de revestimento para superfícies verticais e externas. Nas edificações com caráter residencial, característica do caso estudado, a predominância no invólucro de alvenarias e estruturas é das argamassas, das tintas acrílicas, das cerâmicas e dos materiais líticos, além das esquadrias.

As tintas acrílicas e as argamassas, apesar de muito usadas na região Sudeste e Sul, não são bem aceitas no mercado do Nordeste, seja por questão cultural (menos valorizada), seja pela questão climática (ambientes quentes e com muita umidade).

As tintas têm base em resinas poliméricas e possuem um bom rendimento. Protegem as superfícies através de finas películas, são de fácil aplicação, porém exigem manutenção mais freqüente. São suscetíveis a problemas como bolor, manchamentos, descamações e bolhas, embora sejam agentes importantes na detecção de fissuras e outras patologias na fachada, pois refletem facilmente as tensões impostas pela estrutura.

Igualmente importantes na constatação de patologias são os revestimentos por argamassas. São compostos principalmente por cal e cimento, e podem receber pigmentos na própria massa. Na cidade do Recife-PE tanto os revestimentos por argamassa quanto os por tinta, em edificações multifamiliares, estão comercialmente associadas a obras de baixo custo.

Os materiais cerâmicos são os mais usados devido à sua disponibilidade de cores e dimensões, à facilidade de aplicação (ancoragem química ou mecânica), à resistência e uniformidade do material (material industrializado), além de ter fácil aplicação e manutenção. Seu desempenho é mais previsível. A indústria do material cerâmico tem contribuído, pois tem investido em materiais e técnicas mais eficazes; a prova disto são as argamassas e

rejuntas industrializados, alguns com grande poder de absorção das movimentações, por serem mais flexíveis. O preço da cerâmica é atrativo e seu uso incorpora valor de venda ao imóvel. O inconveniente da cerâmica está mais voltado para sua aplicação: quando há falhas de projeto, de execução ou recalques não previstos da estrutura, o revestimento pode fissurar, cair, ou até mascarar eventuais problemas que ocorram na estrutura e no substrato.

Seguindo o caminho da cerâmica foi criado o porcelanato. É um composto de argila e aditivos orgânicos, não esmaltado, que recebe apenas uma queima (monoqueima). É um material de composição controlada uma vez que é industrializado e tem na grande resistência e na baixa absorção d'água suas maiores qualidades. Possui pequena espessura, com isso menor peso e está disponível em variadas dimensões e padrões. A aplicação em fachada pode ser feita através de argamassa colante ou de dispositivos metálicos, de acordo com a dimensão da placa. Possui um alto custo e bom desempenho; seu uso mais recente o faz competir com o mercado pertencente às rochas ornamentais.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABINROCHAS - (2005), a exploração mundial de rochas teve grande impulsão no fim do século XX. A produção passou de 1,5 milhões de t/ano na década de 20, para 65 milhões de t/ano atualmente, onde 80% é transformada em chapas e ladrilhos e desse montante, 16% é para revestimento de fachadas. No Brasil, no decorrer da década de 90, as exportações mais do que dobraram.

Apesar do incremento nas vendas, em geral, as rochas (material lítico) exigem atenção especial quando instaladas em fachadas. As placas de rocha precisam de técnicas de aplicação e sustentação mais elaboradas: pela NBR 13707, a fixação com argamassa é desaconselhável

para alturas acima de 15m, sendo adotado então o sistema de dispositivos metálicos. A uniformidade possível e a resistência só poderão ser atestadas de acordo com ensaios físicos com a rocha escolhida. Geralmente são usados para revestimentos rochas do tipo das ardósias, quartzitos, mármore e granitos, sendo as duas últimas em maior escala devido à possibilidade de acabamentos, como o polimento. Por todos esses fatores, a aplicação de rochas em fachadas torna-se onerosa e somente edificações destinadas aos de padrão aquisitivo alto suportam esse custo.

Outro item a ser considerado é a quantidade de patologias que são encontradas nos revestimentos em que são usadas as placas de rocha, pois muitas vezes não são levadas em consideração as propriedades das mesmas – o padrão estético é o que prevalece.

Sales e Morais (2003) afirmam:

“A cor de uma pedra é um fator bastante significativo sob o ponto de vista comercial da mesma”. Frascá (2002) adiciona: “o padrão estético, fornecido pela cor, textura, estrutura e homogeneidade da rocha é determinado pelo modo de formação, composição mineral, padrões de orientação ou deformação impressos pela história geológica etc. Constitui o principal condicionante para o comércio e uso da rocha; por sua vez, impostos pelos modismos e não pelas características tecnológicas das rochas”.

E Ferreira (2005) complementa:

“As pedras naturais para revestimento de fachadas são frequentemente escolhidas levando-se em conta seus efeitos estéticos, durabilidade ao tempo, e baixo custo de manutenção. Entretanto, estas vantagens podem ser eliminadas devido a um insuficiente cuidado no dimensionamento de juntas, conexões e sistemas de fixação, e ao pouco conhecimento e entendimento das propriedades e comportamento dos materiais envolvidos no revestimento da fachada”.

Existem ainda outros materiais como as fachadas envidraçadas (“pele de vidro”), o uso das chapas metálicas (cobre, alumínio, aço), os materiais naturais (palhas, bambu, madeira),

os poliméricos como o PVC e o policarbonato, entre outros. Há técnicas de aplicação diferentes como as diversas ancoragens mecânicas e ancoragens químicas.

No entanto, não adianta o revestimento ser duradouro se o rejunte não é plástico o suficiente, ou se o dispositivo de fixação é facilmente corrosível. A especificação tem que prever todo o material faça parte do sistema, para que funcionem em sintonia.

Enfim, o que há em comum a todos os materiais é a necessidade em responder adequadamente às solicitações mecânicas, ambientais e funcionais da fachada. Um material bem especificado, juntamente com a técnica adequada, já indica um desempenho satisfatório da obra, se não foram esquecidas as fases de projeto e execução.

## **2.4 Projeto e execução de fachada**

O projeto de uma fachada pressupõe um estudo elaborado acerca dos condicionantes que atuam sobre a mesma. A previsão das aberturas e das cargas atuantes (choques, ventos, peso próprio, insolação, etc...) é fundamental para o bom desempenho dos materiais. É a fase onde se deveria dispensar mais tempo para se minimizar problemas futuros.

Para Chamosa e Ortiz, (1984 *apud* HENRIQUES, 2001), “as patologias decorrentes por problemas de projeto na Espanha chegam a 42% enquanto as geradas por execução são responsáveis por 28,4%”.

O projeto de uma fachada consiste não só na paginação do revestimento, mas no dimensionamento dos materiais, na escolha das cores, levando-se em conta as dilatações

diferenciais de especificações distintas. Dependendo do tipo de fixação, há que se prever os apoios e o detalhamento dos encontros.

Acabamentos tipo respingadores (forma de verter água para fora da superfície), drenagem dos caixilhos e aberturas, principalmente para caixas de ar condicionado, encaixes entre planos diferenciais, previsão das furações necessárias (como armadores de rede, telas de proteção, fixadores de balancins para limpeza de fachada), alocação da juntas de dilatação verticais e horizontais, são elementos a serem desenvolvidos na fase de projeto.

A fase de execução também tem um valor incontestável na vida útil dos materiais. Tem que conjugar prazos reais para aplicação dos materiais (alvenaria, chapisco, emboço,...), estudo das condições climáticas (temperatura, umidade, vento, insolação), conhecimento sobre as características da edificação (altura, locação, geometria) e principalmente a qualificação da mão-de-obra.

Alguns autores ressaltam a seguir prazos a serem cumpridas na fase de execução e fazem algumas ressalvas.

Para Souza e Mekbekian (1996) devem-se observar os seguintes prazos para execução de revestimentos de fachada:

“A estrutura deve estar concluída há, pelo menos, 120 dias;  
No caso dos três últimos pavimentos, a estrutura deve estar concluída há, pelo menos, 60 dias;  
A alvenaria deve estar concluída, no mínimo, há 30 dias e fixada há 15 dias.  
Entre cada etapa de execução do revestimento, respeitar os seguintes prazos:  
Emboço: três dias após o chapisco.  
Reboco: sete dias após o emboço.  
Pintura com tintas minerais: à base de cimento, 15 dias após o emboço ou reboco; a base de cal, sete dias após o emboço ou reboco;  
Pintura com tintas à base de resina PVA e acrílica: 30 dias após o emboço ou reboco;

Revestimento texturado: 30 dias após o emboço ou reboco.

Em edifícios muito altos, pode-se executar o revestimento da fachada desde que estejam concluídas a estrutura de metade mais um dos pavimentos, a alvenaria de metade menos um dos pavimentos e a fixação da alvenaria em pelo menos três dos pavimentos imediatamente acima do qual se pretende iniciar o revestimento”.

Ripper (1995) acrescenta considerações sobre aspectos climáticos: “em tempo chuvoso, o intervalo entre o término da alvenaria e o início do revestimento deve ser maior, exceto quando tenha sido providenciada uma secagem artificial dos ambientes, com aquecimento, ou com uso de ventiladores”.

Segundo Flain (2002), essa umidade residual juntamente com a ocupação das edificações, gera vapores d’água que migram parcialmente para o exterior. Acrescenta ainda que a água pode penetrar através das vedações verticais exteriores por capilaridade. Para evaporação dessa água, recomenda deixar aberturas na camada de revestimento, em locais por onde não ocorra a penetração de água de chuva ou de lavagem.

Souza e Mekbekian (1996) também abordam a técnica de aplicação do revestimento e afirmam que não é necessário molhar o substrato para aplicar a argamassa. O umedecimento só é recomendável em revestimentos executados sob sol intenso ou sujeitos a muito vento e baixa umidade relativa do ar.

E tecem comentários sobre a locação das juntas e aplicação do rejuntamento:

“Rejuntamento após 72hs. Não se precisa molhar as juntas, a menos que estejam sob sol intenso ou estejam sujeitas a muito vento... Juntas de expansão ou movimentação. As juntas horizontais devem ser previstas a cada 3 m (entre pavimentos, por exemplo). Fixando-se as juntas horizontais a cada pavimento, as juntas verticais passarão a definir os panos de movimentação. Assim, o espaçamento será consequência de diversos aspectos. Nos casos mais desfavoráveis - por exemplo, com peças grandes, tonalidades escuras, acabamento fosco, elevado índice de insolação, estruturas muito deformáveis e fachadas sem aberturas - os panos não devem

superar 9 m<sup>2</sup>. Já nos casos mais favoráveis os panos podem chegar a até 30 m<sup>2</sup>.

As juntas de movimentação devem acompanhar as juntas entre peças e devem ser feitas cortando-se a base com uma serra elétrica manual até se atingir a metade da espessura do emboço, se possível. O sulco deve ser preenchido com mástique elástico, utilizando-se limitadores de altura para economia de mástique. A espessura da junta deve ser de 8mm a 12mm[...].

As juntas estruturais do concreto devem ser mantidas na superfície das peças cerâmicas e preenchidas com mástique elástico”.

## 2.5 Patologias usuais de fachada

O Termo patologia é empregado de forma corriqueira em relação à medicina. Sobre este verbete, diz Houaiss (2002), Dicionário Língua Portuguesa, em sua versão eletrônica: “especialidade médica que estuda as doenças e as alterações que estas provocam no organismo” e “qualquer desvio anatômico e/ou fisiológico, em relação à normalidade, que constitua uma doença ou caracterize determinada doença”. Por extensão de sentido, ainda segundo a mesma fonte, patologia é: “desvio em relação ao que é próprio ou adequado ou em relação ao que é considerado como o estado normal de uma coisa inanimada ou imaterial”. É esta última, a acepção em uso na Engenharia Civil.

No caso das fachadas, as patologias podem ser geradas por problemas de ordem de especificação de materiais, de projeto, de execução, de manutenção ou de uma combinação entre eles.

Além de alterar o aspecto estético, as patologias de fachada podem gerar a ruína do revestimento ou ainda provocar problemas internos na edificação (estrutura), desvirtuando assim suas funções de acabamento, de proteção, de segurança e vedação.

As patologias de maior ocorrência são manifestações dos seguintes tipos: infiltrações, fissuras (por choque mecânico, por movimentações estruturais ou devido às variações térmicas), e deslocamento. Abrem caminho para a infiltração de água o que pode desencadear reações químicas que levem à desagregação, à descamação, ao manchamento, à oxidação e à eflorescência.

As variações térmicas podem atuar de maneira efetiva gerando trincas e fissuras entre materiais distintos (ex.: revestimento x argamassa x suporte), entre o mesmo material com cores ou dimensões diferentes (ex.: cor clara x cor escura) ou entre o mesmo material em condições de exposição diferentes (ex.: revestimento aplicado de topo x revestimento aplicado perpendicularmente; ou ainda revestimento sombreado x revestimento sob o sol).

Thomaz (*apud* BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1989) ratifica:

Segundo as indicações do Building Research Establishment, as amplitudes de variação das temperaturas dos componentes das edificações podem ser bastante acentuadas, variando em função de sua posição no edifício, de sua cor e da natureza do material que os constitui; [...].

E complementa:

“As trincas de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de:

- Junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura (por exemplo, movimentações diferenciadas entre argamassa de assentamento e componentes de uma alvenaria);
- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (por exemplo, cobertura em relação às paredes de uma edificação);
- Gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura)”.

Essas trincas abrem espaço nos rejuntas e argamassas para a penetração da água e outros agentes agressivos, permitindo a percolação e o acúmulo dos mesmos no dorso do material de revestimento.

É o que confirma Thomaz (1999):

“Os ciclos de umedecimento e secagem de argamassas de revestimento, com deficiente impermeabilização da superfície, associados às próprias movimentações térmicas do revestimento provocam inicialmente a ocorrência de microfissuras na argamassa. Através destas ocorrerão penetrações de água cada vez maiores, acentuando-se progressivamente as movimentações e a conseqüente incidência de fissuras no revestimento”.

Entretanto, não é somente a variação térmica a responsável pelas patologias. Trincas podem ser originadas devido à movimentação da estrutura associada a materiais rígidos para fixação e rejuntas; problemas de ‘ponte de aderência’ (ancoragem) entre o revestimento e o substrato podem dar lugar ao deslocamento; o não preenchimento do tarso das placas com argamassa (ancoragem do tipo química) permite a criação de bolsões de ar, e com isso o acúmulo de água em caso de infiltrações.

Thomaz (1999) tece algumas considerações a respeito:

“Movimentações reversíveis ou irreversíveis podem originar também destacamentos entre componentes de alvenaria e argamassa de assentamento. Esses destacamentos ocorrem em função de inúmeros fatores, sendo os mais importantes: aderência entre argamassa e componentes de alvenaria, tipo de junta adotada, módulo de deformação dos materiais em contato, propriedades higroscópicas desses materiais e intensidade da variação da umidade”.

E pondera:

“A fissuração dos revestimentos de argamassa será mais acentuada em regiões onde, por qualquer motivo, ocorra a maior incidência de água. Os peitoris, as saliências e outros detalhes arquitetônicos inseridos nas fachadas têm, por exemplo, a função básica de interromper os fluxos de água que escorrem pela parede, defletindo-os para fora da construção; contudo, caso esses detalhes não tenham sido bem projetados ou bem executados, poderão causar problemas em regiões localizadas da fachada”.

É importante a prevenção das patologias em fase de projeto, pois nesta etapa o tempo e os valores gastos são bem menores do que é despendido no reparo de uma estrutura mal planejada. Esses números serão ainda mais ínfimos quando comparados à necessidade de substituição de um material por perda precoce da vida útil.

### 3 ROCHAS

A definição de rocha assume diversos enfoques; por isso irá se fazer a abordagem segundo alguns autores e normas.

Para Frazão e Paraguassu (1998), é expressa como:

“Rocha é um corpo sólido natural, resultante de um processo geológico determinado, formado por agregados de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação. Também podem ser corpos de material mineral não-cristalino, como o vidro vulcânico (obsidiana) e materiais sólidos orgânicos como o carvão”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na sua terminologia de rochas e solos, NBR 6502 (1995), define rocha como “material sólido, consolidado e constituído por um ou mais minerais, com características físicas e mecânicas específicas para cada tipo”.

Nos dois casos há, entretanto, um consenso que as rochas são materiais não uniformes, devido às variações geradas pelas diferentes condições de temperatura e pressão no ambiente de gênese das mesmas.

A NBR, projeto 02:105.45-012 (*apud* FRASCÁ, 2003) determina rocha para revestimento como: “rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil”.

Já a rocha ornamental, segundo NBR projeto 02:105.45-012 (*apud* FRASCÁ, 2003), é “material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou

afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética”.

As rochas ornamentais para revestimento são, portanto, materiais rochosos naturais que, depois de explorados nas jazidas, sofrem desdobramentos e beneficiamento para o uso através de blocos e placas, com diferentes acabamentos, na construção civil.

Diversas são as rochas comercializadas para a construção civil, seja para embasamento, seja como agregados; entretanto, na área de revestimento, a procura por rochas ornamentais é cada vez mais freqüente.

Flain (2002) endossa: “A grande utilização desse tipo de revestimento deve-se, entre muitos fatores, a maior durabilidade, quando comparados com os revestimentos de argamassas, por exemplo, e ao efeito estético que proporcionam ao conjunto”.

Rochas diversas como ardósia, pedra mineira, cariri, têm sido muito usadas para revestimentos; contudo, os granitos e mármore despontam como preferidos devido às possibilidades de textura, cores, durezas e beneficiamentos.

Frasca (2002, 2003) afirma:

“As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os ‘granitos’, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas e/ou vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos), e o ‘mármore’, comercialmente entendido como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento”.

Frasca e Sartori (1998) concordam: “Comercial e popularmente, granito é um nome genérico para designar qualquer tipo de rocha plutônica”.

Mas não é só a beleza que define o uso de uma rocha. Petrucci (1998) enumera as propriedades fundamentais das rochas como:

- “Resistência mecânica – capacidade de suportar a ação das cargas aplicadas sem entrar em colapso.
- Durabilidade – capacidade de manter as suas propriedades físicas e mecânicas com o decorrer do tempo e sob ação de agentes agressivos, quer do meio ambiente, quer intrínsecos, sejam eles físicos, químicos ou mecânicos.
- Trabalhabilidade – capacidade da pedra em ser afeiçoada com o mínimo esforço.
- Estética – aparência da pedra para fins de revestimento ou acabamento”.

E Frascá (2002, 2003) levanta aspectos ligados à geologia e exploração do material rochoso como tipologia do jazimento (intensidade e tipo de alteração da rocha, presença de tensões, heterogeneidade), propriedades físicas e químicas da rocha (condicionantes do uso), processo de extração e beneficiamento, e aplicação e uso.

### **3.1 Rochas graníticas**

Para uma definição coerente do material rochoso granítico, precisa-se recorrer às bases da formação do mesmo. Para tal, analisou-se o que alguns autores apontam quanto à origem do material.

Szabó, Babinski e Teixeira (2000), definem “[...] rochas ígneas são aquelas cuja formação se deu a altas temperaturas, a partir de matéria mineral fundida em grandes profundidades e que, às vezes, extravasa à superfície do planeta através dos vulcões”.

Frascá e Sartori (1998), concordam e explicam: “As rochas ígneas, ou magmáticas, resultam da solidificação de material rochoso, parcial a totalmente fundido, denominado magma, gerado no interior da crosta terrestre”.

As rochas ígneas podem ser plutônicas ou intrusivas, quando originadas lentamente pelo resfriamento do magma em profundidade; ou vulcânicas ou extrusivas, quando originadas pelo deslocamento do magma à superfície (larva) sofrendo um resfriamento rápido. Essas diferentes formas de resfriamento gerarão texturas e granulações distintas. O resfriamento lento gera minerais de dimensões maiores, textura fanerítica, identificáveis a olho nu. Já o resfriamento rápido produz vidro vulcânico ou cristais diminutos, constituindo uma textura afanítica, imperceptível a olho nu.

As definições da ABNT NBR 6502 (1995) endossam: rocha ígnea plutônica é aquela formada em grandes profundidades, possuindo textura grossa a média. Já a ígnea extrusiva ou vulcânica é aquela formada pelo extravasamento do magma na superfície terrestre.

A composição do material rochoso também sofrerá influência da composição do manto e da crosta terrestre. Segundo Szabó, Babinski e Teixeira (2000):

“Magmas têm, majoritariamente, composição silicática, em consonância com a composição predominante da crosta e do manto terrestre. [...]. Dois tipos de magma se destacam amplamente pela sua abundância na crosta terrestre: são o magma granítico, com teores de sílica superiores a 66%, e o magma basáltico, com teores de sílica entre 45 e 52%. Alguns pesquisadores acrescentam um terceiro tipo de magma, o magma andesítico (teor de sílica entre 52 e 66%), por sua frequência e ambiente de colocação específico na crosta”.

Para Szabó, Babinski e Teixeira (2000), os magmas basálticos são mais fluidos e quentes, enquanto os magmas graníticos são significativamente mais viscosos e apresentam temperaturas menores. A alta porcentagem de sílica dos magmas graníticos é associada à fusão de partes profundas da crosta continental, ricas em sílica em relação à crosta oceânica.

### 3.2 Caracterização

Diante dos inúmeros fatores que influenciam na formação e na composição das rochas, Rodrigues (2005) faz uma interessante abordagem:

“A multiplicidade dos ambientes geológicos e as singularidades espaço-temporais da história de evolução da crosta terrestre, conferem particularidades estéticas únicas e exclusivas a cada tipo de rocha e até a cada afloramento de um mesmo maciço rochoso. Do ponto de vista geológico, tais processos genéticos combinam dezenas de elementos químicos, centenas de minerais e infinitos padrões texturais e cromáticos resultantes”.

Por esta visão, só com estudo aprofundado da rocha é possível determinar a sua composição mineralógica e determinar seu uso. E assim Sales e Moraes (2003) afirmam:

“O conhecimento da composição mineralógica, o tamanho dos grãos, a textura e a cor da rocha são de grande interesse já que são propriedades que condicionam decisivamente seu caráter ornamental. Ao contrário das outras propriedades tecnológicas não há como dimensionar a beleza de uma pedra polida, já que o seu valor estético pode ser alto para uns e baixo para outros”.

A caracterização tecnológica da rocha é importante para saber se o material a ser lavrado satisfaz as necessidades da aplicabilidade a que se destina.

Para a denominação da rocha, o teor de sílica tem papel fundamental, e Szabó, Babinski e Teixeira (2000), completam:

“Um dos parâmetros fundamentais para a caracterização composicional de rochas ígneas é o teor de sílica, já mencionado anteriormente. Segundo este parâmetro, as rochas ígneas podem ser subdivididas em ácidas, teor de sílica superior a 66%, intermediárias, com teor de sílica entre 66 e 52%, básicas, com teor de sílica entre 52 e 45% e ultrabásicas, quando o teor de sílica é inferior a 45%. Granitos, andesitos, basaltos e gabros e peridotitos são, respectivamente, representantes típicos de cada categoria”.

As rochas graníticas são caracterizadas, portanto, por serem rochas ígneas plutônicas (formadas em grandes profundidades), com alta concentração de sílica (ácidas), portando cores claras (com presença de minerais sálicos ou félsicos), originando um material com textura fanerítica.

A importância da granulometria dos minerais diz respeito, segundo Melo e Oliveira (2005), a possibilidade de decomposição da rocha. Smith (*apud* Birkeland, 1974, tradução nossa) afirma: “O tamanho do grão tem efeito na taxa de intemperismo, pois foi observado que rochas ígneas de textura grossa comumente intemperizam mais rapidamente que as de textura fina”. Justifica: “A razão pode ser o aumento da área superficial com a diminuição do tamanho dos grãos; portanto, provavelmente mais energia seria requerida para desintegrar a rocha finamente granulada”.

Na seqüência, a Figura 3.01, onde estão relacionados proporção de minerais, índice de cor, teor de sílica e ambiente de cristalização das rochas ígneas.

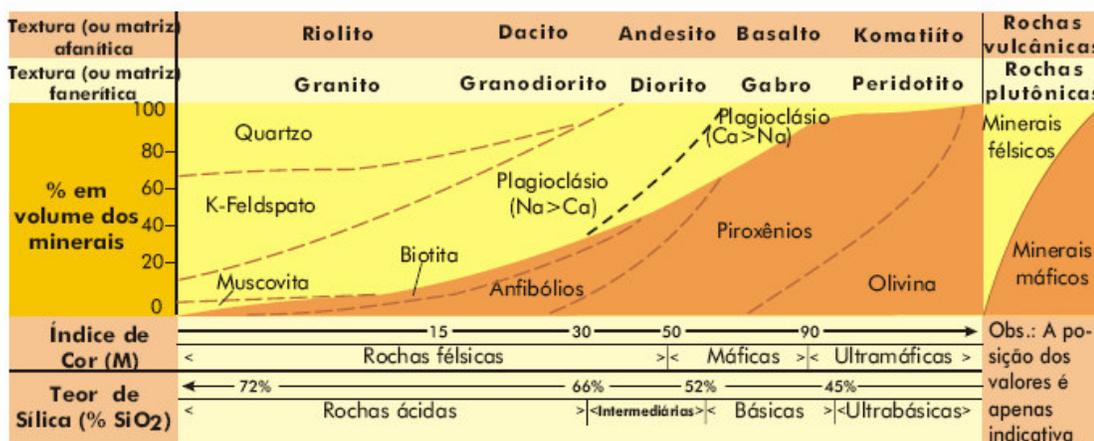


Figura n. 3.01 - As relações entre índice de cor, teor de sílica, composição mineralógica e ambiente de cristalização para rochas ígneas mais comuns (excluindo as alcalinas).

Fonte: SZABÓ, BABINSKI e TEIXEIRA (2000).

As rochas graníticas são rochas ácidas ricas em minerais félsicos (Si, Al, Na e K) e geralmente possuem cores claras (cinza a rosa-avermelhada), sendo chamadas de

leucocráticas devido à baixa percentagem de minerais máficos (Fe, Mg e Ca)  $10 < M < 30$ . Os minerais predominantes desta composição são o plagioclásio, o feldspato potássico, (biotita/hornblenda) e o quartzo, este último formado pela sílica livre.

Segue a Tabela 3.01 com composição química média de rochas originadas pelo magma tipo granito segundo Szabó, Babinski e Teixeira (2000).

Tabela n. 3.01 - Exemplos de composição média de rochas ígneas consolidadas a partir de magmas graníticos, andesíticos e basálticos (valores em % em peso).

Rocha/Magma Óxido	Granito	Andesito	Basalto
SiO <sub>2</sub>	72,08	54,20	50,83
TiO <sub>2</sub>	0,37	1,31	2,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,86	17,17	14,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,86	3,48	2,88
FeO	1,67	5,49	9,05
MnO	0,06	0,15	0,18
MgO	0,52	4,36	6,34
CaO	1,33	7,92	10,42
Na <sub>2</sub> O	3,08	3,67	2,23
K <sub>2</sub> O	5,46	1,11	0,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,28	0,23
H <sub>2</sub> O	0,53	0,86	0,91
Total	100,00	100,00	100,00

Fonte: Mod. SZABÓ, BABINSKI e TEIXEIRA (2000).

### 3.3 Resistência Físico-Química

Para Frazão e Paraguassu (2000), as pedras de revestimento devem atender aos seguintes requisitos de qualidade para que possam apresentar bom desempenho.

- “Alta resistência ao intemperismo e a agentes químicos agressivos, quando usados em revestimento de exteriores.
- Baixa capacidade de absorção de líquidos, visando evitar manchamentos e, também, impedir a sua deterioração.
- Baixa dilatação térmica, para garantir estabilidade do revestimento;
- Alta resistência ao desgaste, para serem usadas em piso.

- Alta resistência à flexão, quando de sua utilização em revestimento fixado por ancoragens metálicas.
- Aspecto externo agradável”.

Diante da diversidade morfológica das rochas, foram determinados parâmetros mínimos desejáveis aos quais as mesmas têm que atender para desempenhar determinados papéis. Esses valores são de fundamental importância, pois serão eles os indicadores de um material durável. Segundo as normas alemãs, Deutches Institut für Normung (DIN), a Tabela 3.02 representa os valores aceitáveis em cada propriedade, para uso das rochas naturais ígneas.

Tabela n. 3.02 – Valores para a escolha e apreciação de pedras naturais segundo a DIN 52 100.

PEDRAS	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> ) DIN 52 102		Porosidade total % DIN 52 102 $P_t = (D-d)/D \times 100$	Absorção de água (%) DIN 52 103		Resistência à compressão da pedra seca (Kgf/cm <sup>2</sup> ) DIN 52 105	Resistência à tração na flexão (Kgf/cm <sup>2</sup> ) DIN 52 112	Ensaio de choque DIN 52 107 Nº de choques até a ruptura	Desgaste por abrasão DIN 52 108 Perda sobre 50 cm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
	Aparente (d)	Absoluta (D)		Em relação ao peso $P_p$	Em relação ao volume “porosidade aparente” $P_v$				
A – PEDRAS ÍGNEAS									
1.									
Granito,	2,60	a 2,62	a			1600	a		
Sienito	2,80	2,85	0,4 a 1,5	0,2 a 0,5	0,4 a 1,4	2400	100 a 200	10 a 12	5 a 8
2.									
Diorito,	2,80	a 2,85	a			1700	a		
Gabro	3,00	3,05	0,5 a 1,2	0,2 a 0,4	0,5 a 1,2	3000	100 a 220	10 a 15	5 a 8
3.									
Quartzo pórfiro;									
(Riolito pórfiro);									
Queratófiro;	2,55	a 2,58	a			1800	a		
Andesito	2,80	2,83	0,4 a 1,8	0,2 a 0,7	0,4 a 1,8	3000	150 a 200	11 a 13	5 a 8
4.									
Basalto	2,95	a 3,00	a			2500	a		
	3,00	3,15	0,2 a 0,9	0,1 a 0,3	0,2 a 0,8	4000	150 a 250	12 a 17	5 a 8,5
5.									
Diabásio	2,80	a 2,85	a			1800	a		
	2,90	2,95	0,3 a 1,1	0,1 a 0,4	0,3 a 1,0	2500	150 a 250	11 a 16	5 a 8

Fonte: Mod. PETRUCCI (1998).

Embora devam sejam considerados esses parâmetros mínimos, Ferreira (2005) destaca algumas singularidades das propriedades das rochas que devem ser cuidadosamente consideradas quando da sua especificação, dada a influência que terão no desempenho.

“A pedra é dura e pouco flexível em vez de dúctil; a pedra é um produto da natureza e, como tal, apresenta grande variação de suas propriedades; a pedra perde resistência como resultado de sua exposição ao meio ambiente; a pedra tem diferentes resistências em diferentes direções; a resistência da pedra é afetada pelo acabamento de sua superfície e por estar a pedra molhada ou seca”.

Dizer “a pedra é dura e pouco flexível em vez de dúctil...” significa dizer que sua ruptura é do tipo frágil, uma ruptura generalizada, brusca, não dá sinais da iminência da falência. Em “... a pedra é um produto da natureza e, como tal, apresenta grande variação de suas propriedades; a pedra perde resistência como resultado de sua exposição ao meio ambiente...” afirma que não se pode esperar um comportamento uniforme, pois sua formação não é conduzida dentro de parâmetros fixos como as peças industrializadas, e embora seja um material natural, vai sofrer alterações que interferem em suas propriedades quando expostas ao meio.

Quando assegura “... a pedra tem diferentes resistências em diferentes direções...”, fala da anisotropia de resistência da rocha, pois em sua formação podem ter sido gerados planos, os quais terão importância fundamental na resistência da peça. E, por fim, diz que “... a resistência da pedra é afetada pelo acabamento de sua superfície e por estar a pedra molhada ou seca...”. Geralmente a rocha sofre beneficiamento, com diferentes acabamentos (polido, levigado, flamejado, apicado,...) e nem sempre a situação de melhor desempenho é a circunstância em que vai ser aplicada. Qualquer estado distinto do polido (onde há diminuição dos poros da superfície), gera queda de resistência e o mesmo pode ocorrer através da umidade presente na rocha.

Levando-se em consideração as particularidades acima, é possível prever quais propriedades devem ser examinadas de acordo com a aplicação. Petrucci (1998) destaca na Tabela 3.03 os ensaios requeridos para cada papel a ser desempenhado pela rocha. Ele divide os ensaios em três grupos: os não necessários, os desejáveis e os necessários.

Tabela n. 3.03 – Ensaios petrográficos e tecnológicos.

ENSAIO	Aplicação da pedra							
	Alvenaria e cantaria	Obras hidráulicas	Pavimentação	Macadame	Lastro ferrovias	Agregado p/ concreto asfáltico	Agregado p/ concreto cimento	Revestimento
Análise petrográfica	N	N	N	N	N	N	N	N
Massa específica	N	N	N	N	N	N	N	N
Resistência	Compressão	D	D	D	-	-	-	-
	Desgaste Abrasão	-	D	N	D	D	-	N
	Desgaste recíproco	-	D	-	N	N	N	-
	Choque	D	N	N	D	D	-	-
Trabalhabilidade – Dureza	-	D	D	D	D	-	-	D
Durabilidade	Compacidade Porosidade	D	D	D	D	D	D	D
	Absorção	D	N	D	D	D	D	N
	Permeabilidade	-	-	-	-	-	-	D
	Análise química	-	D	-	-	-	D	D

N – necessário D – desejável

Fonte: Mod. PETRUCCI (1998).

Para revestimentos (lê-se como revestimento o recobrimento de pisos ou paredes) destaca a importância da análise petrográfica, da massa específica, da absorção e do desgaste por abrasão (revestimento para pisos). No geral, aconselha os ensaios de trabalhabilidade e dureza, a análise química, o de permeabilidade e o de compacidade e porosidade, embora os últimos sejam de fundamental importância em uso externo.

Frasca (2002) delimita mais especificamente na Tabela 3.04, as situações de uso e as propriedades requeridas para as funções propostas do revestimento.

Tabela n. 3.04 - Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego.

Função do Revestimento	Pisos		Paredes		Fachadas	Tampos <sup>(*)</sup>
	Ext.	Int.	Ext.	Int.		
Tipo de rocha	X	X	X	X	X	X
Absorção D'água	X	X	X	X	X	X
Desgaste Abrasivo	X	X				
Flexão	X	X			X	X
Compressão			X	X	X	
Dilatação Térmica	X	X	X	X	X	
Acabamento Superficial	X	X			X	
Alterabilidade	X	X			X	X

<sup>(\*)</sup> especialmente pias de cozinha  
Fonte: Mod. FRASCÁ (2002).

### 3.4 Técnicas de Assentamento

O assentamento de placas de rochas sempre foi executado de maneira artesanal. Somente nas últimas décadas houve um empenho em pesquisas para criar procedimentos e técnicas mais seguras e eficazes. E Gonzáles-Mesones (2002, tradução nossa) ratifica: “Até agora a pedra natural tem sido usada, na maioria das vezes, de maneira bem mais intuitiva ou ainda baseada em experiências locais mais ou menos eficazes, mas carentes em qualquer caso de um planejamento tecnológico global” .

Diversas técnicas de aplicação de materiais pétreos são usadas; entretanto, nesta pesquisa, foram focadas as aplicações usadas em fachadas.

Segundo Ferreira (2005):

“[...] desde o começo do século [XX] pedra tem sido usada para revestir estruturas de concreto e aço, e alvenarias. A espessura da pedra usada naquela época variava de 4” (10 cm) a 8” (20 cm). No início dos anos 60 a espessura das pedras para revestimento começou a diminuir. Hoje, a

espessura comumente usada para fachadas é de 30 mm e em alguns casos 20 mm”.

Desde o princípio do uso de placas mais finas, técnicas mais antigas, como colagem, foram aperfeiçoadas com algumas inovações nos materiais; processos de aplicação sofreram regulamentações como, por exemplo, a colocação de juntas; e algumas técnicas estão em fase de análise de resultados como o uso dos dispositivos metálicos, conhecidos também como insertes.

Maranhão (2002) agrupa as técnicas construtivas em duas, segundo o tipo de fixação: aderentes e não-aderentes. O primeiro grupo engloba todas as técnicas construtivas cuja fixação das placas dá-se por meio de um contato direto entre a placa de rocha e o substrato. O segundo se caracteriza por não haver o contato da rocha com o substrato, sendo as placas sustentadas mecanicamente por dispositivos metálicos fixados em seu dorso ou em suas laterais.

Carvalho Jr. *et al.* (*apud* Maranhão & Barros, 2005) complementam que a fixação de placas por aderência dá-se por adesão química e física decorrente da penetração e cristalização dos produtos hidratados do cimento, nos poros da base e no dorso da placa de rocha, até uma profundidade inferior a 2,0 mm.

Já para Flain (2002), a fixação de placas de rocha em fachadas “pode ser dividida em duas maneiras básicas: por colagem (adesão físico-química ou aderência mecânica) com ou sem ancoragem de segurança (grampos); e por ancoragem mecânica”. Na primeira é utilizada argamassa convencional ou colante ou ainda colas especiais, sendo o processo tradicional definido como o que utiliza a argamassa convencional para assentamento dos componentes;

Na segunda, utilizam-se os componentes metálicos, sendo o processo racionalizado aquele que utiliza a ancoragem mecânica com auxílio de dispositivos de fixação.

Segundo Flain (2002), no processo tradicional, o mais utilizado no Brasil, uma tela é fixada ao suporte (substrato) e recebe posteriormente uma camada de fixação (argamassa). As placas são amarradas à tela e recebem o rejuntamento.

A ABNT, pela NBR 13707, normatizou em julho de 1996 o procedimento de uso de placas de rochas em revestimento de paredes e estruturas. Segundo a NBR 6502 (1995), para revestimentos de interiores com altura de até 2 m, pode-se usar apenas argamassa para fixação. Acima desta altura e, no exterior, deve-se utilizar grampos (peças de secção circular ou retangular, dobradas em “L”), e a placa deverá ser ranhurada. No exterior, entre 3 e 15 m de altura, devem-se usar grampos fixados em telas, que por sua vez devem estar ancoradas ao suporte. Acima de 15 m recomenda-se a fixação por dispositivos metálicos (componentes metálicos com formatos diversos).

Algumas variações anteriores à norma são, entretanto, encontradas no mercado.

Pfeffermann (1967 *apud* THOMAZ, 1989) afirma: “O conhecimento do comportamento dos materiais de construção, de suas deficiências e de suas incompatibilidades, é imprescindível para que as fissuras e as patologias em geral sejam reduzidas a níveis aceitáveis”. Pfeffermann cita que muitos dos problemas verificados em obra devem-se ao emprego de novos materiais segundo as mesmas práticas construtivas verificadas para os materiais tradicionais.

Na área Metropolitana de Recife, ainda encontram-se edificações de grandes alturas, onde as placas foram assentadas com argamassa convencional diretamente sobre o substrato ou, para maior aderência, com grampos no tardo das placas, que por sua vez são fixadas com argamassas ao suporte, sem presença de tela.

Segundo a ABNT NBR 13707 (1996), deverão existir juntas de dilatação no revestimento de fachada sempre que existirem juntas no suporte ou nos encontros das placas com quaisquer elementos distintos. Devem ser preenchidas com selante, quando as placas forem assentadas com dispositivos e, com selantes ou nata de cimento, quando as placas forem assentadas com argamassa, observando o grau de movimentações existentes. Recomenda ao projetista a análise, caso a caso.

Fatores como cor, coeficiente de dilatação e dimensão da placa de rocha são indicativos importantes quanto à necessidade de juntas de dilatação, suas localizações e as quantidades.

Para Flain (2002), o uso de argamassas colantes ou de colas, já se caracteriza como um processo racionalizado, pois dissocia a camada de regularização da de fixação.

Outro processo caracterizado como racionalizado é o uso de dispositivos de fixação, também conhecidos como insertes ou insertos metálicos. Segundo Giafarov (2005), o primeiro onde a técnica foi utilizada no Brasil é o Banco Safra, em 1982, no Rio de Janeiro, projeto do arquiteto Maurício Kogan. Depois do Banco Econômico em São Paulo, foram erguidos o Citibank, o Banco Safra e o Sudameris na mesma cidade. A partir de 1984,

difundiu-se o uso da técnica, sendo responsável hoje por 95% das edificações revestidas com placas de rocha em São Paulo. Neste caso é indispensável o projeto de paginação da fachada.

Ferreira (2005) afirma que um programa de testes é um instrumento importante para minimizar problemas em fachadas. Ele subdivide em três fases: testes iniciais (testes para averiguação das propriedades da pedra); testes na fase de projeto (testes de dimensionamento e cargas executados com os painéis e suas conexões); e testes durante a construção (testes para constatação das propriedades das rochas entregues na obra sob ação das cargas atuantes).

Para Loturco (2006), “Os modelos de inserte mais utilizados no Brasil são os dos pioneiros sistemas americano e alemão”. E continua: “Ambos foram fixados às superfícies laterais ou superiores e inferiores por meio de orifícios nas placas. A diferença é que o primeiro exige um rasgo, feito com serra circular, para acomodar uma aba, e o segundo apenas um furo, para inserção de um pino”. Afirma também que o alemão enfraquece menos a rocha por remover menor quantidade de material possibilitando trabalhar com placas de espessura a partir de 30 mm.

Em fachadas executadas com uso de dispositivos, esses são compostos por três partes: uma ancorada ao suporte; uma de ligação (tipo barra ou cantoneira) e outra de união com as placas. Podem ser do tipo sustentador (segura o peso próprio das placas), retentor (evita o tombamento) ou ambos. Para aplicação, primeiramente faz-se a demarcação dos prumos. Posteriormente, instalam-se os parabolts e demais peças do inserto na estrutura ou cinta, encaixam-se as placas de rocha aos terminais e regulam-se os parafusos. O afastamento entre o nível das placas e o substrato pode variar dos 70 mm aos 150 mm com a ajuda de peças auxiliares.

Ferreira (2005) defende que:

“... as conexões para suportar o peso próprio da placa devem ser colocadas preferencialmente na parte inferior da placa (junta horizontal), ou no caso de eventual impossibilidade, deve-se colocar as ancoragens de suporte de gravidade pela lateral da placa (junta vertical), porém o mais próximo possível da parte inferior da placa, respeitando-se as distâncias mínimas e máximas dos cantos da placa”.

Em qualquer processo a ser realizado, alguns pontos devem ser observados, como o conhecimento sobre o material pétreo para uma especificação eficaz, a qualidade das placas de rocha e dos materiais usados na fixação das mesmas e, principalmente, os referentes prazos de execução e condições climáticas da região, pois, na ânsia de cumprir metas, algumas fases são desconsideradas o que resulta em prováveis problemas no revestimento.

Quanto à escolha das placas de rocha, a ABNT NBR 13707 (1996) aconselha o projetista a considerar as características petrográficas, as propriedades mecânicas e físicas, a porosidade e a absorção, a viabilidade de beneficiamentos, e as possíveis alterações na aparência das placas quando submetidas a lavagens e a ação de produtos químicos, quando expostas às intempéries, e quando assentadas com argamassa. Recomenda que as placas utilizadas sejam extraídas do mesmo maciço ou matacão, devendo ser rejeitadas as placas que apresentarem defeitos.

A observação do dimensionamento das placas também é importante. Com dispositivo metálico, o uso de placas de espessura menor que 30 mm é pouco recomendado, embora Giafarov (*apud* Loturco, 2006) afirme: “existe quem faça com 20mm, abrindo mão de um coeficiente de segurança”.

Quanto aos materiais, a ABNT NBR 13707 (1996) determina que os dispositivos de fixação devam ser constituídos por metais inalteráveis, resistentes ao intemperismo. São eles: aço inoxidável (tipo ABNT 304 para áreas sem cloretos, e tipo ABNT 316 para áreas com a presença de cloretos); cobre e suas ligas - cobre (utilização em grampos, em ambiente isento de H<sub>2</sub>S e amônia), latão (ligas com teor de zinco inferior a 15%) e bronze-alumínio (atmosferas marítimas); aço-carbono (galvanizado, nunca em contato com a rocha); e alumínio. Os selantes devem ser resistentes ao intemperismo, ter boa aderência, ser estanques a água e ao ar, ser inertes a substâncias químicas e manter a elasticidade ao longo do tempo. A argamassa deve ser de cimento e areia média no traço 1:3, podendo ser acrescentados aditivos plastificantes ou superplastificantes.

### **3.5 Alterabilidade da rocha**

Rocha sã, segundo a ABNT NBR 6502 (1995), é aquela com “componentes mineralógicos originais intactos, sem apresentar indícios de decomposição com juntas ligeiramente oxidadas e sem haver perda de sua resistência mecânica”. Entretanto, a partir da hora em que entra em contato com o meio externo, pode sofrer diversos tipos de alteração (mudanças químicas e físicas do novo sítio).

A ABNT, na NBR 6502 (1995), define a propriedade de alterabilidade como “facilidade relativa que uma rocha possui de sofrer alterações em seus constituintes, que depende das características internas (composição mineralógica, microfissuras, porosidade, planos de fraquezas intrínsecas, etc.) e da intensidade e tempo de duração de agentes naturais externos e/ou internos e artificiais”.

E Petrucci (1998) endossa, afirmando que se entende por alteração de uma rocha a modificação das suas características e propriedades por agentes atmosféricos ou outros agentes agressivos, que podem atuar através de uma ação física ou química. Acrescenta ainda que esta alterabilidade poderá ajudar na extração e corte das pedras, porém diminuirá a resistência mecânica, a durabilidade e o efeito estético.

Na literatura, a alteração (segundo alguns autores) pode ser encontrada sob o nome de intemperismo (processos ocorridos nos minerais quando expostos à superfície terrestre), de climatização ou de meteorização.

Birkeland (1974, tradução nossa) afirma: “Climatização pode ser definido como o processo de alteração de rochas e minerais para formas mais estáveis diante da variação de umidade, temperatura e atividade biológica que ocorrem na superfície”.

Enfim, a alteração pode ser resumida como a estabilização da composição e da microestrutura da rocha diante de novas situações de exposição, podendo resultar em novas propriedades e desempenho.

Para a ABNT NBR 6502 (1995), existem diferentes gradações no estágio de alteração da rocha: *sã*; pouco alterada (alteração incipiente ao longo das fraturas, com pequena perda de resistência em relação à rocha *sã*); *mediamente alterada* (possui alguns componentes originais, onde 1/3 do corpo da rocha encontra-se alterado. As superfícies mostram parcialmente a ação do intemperismo, e há perda de resistência mecânica em relação à rocha pouco alterada); *muito alterada* (2/3 do corpo da rocha apresenta alteração, com a transformação de alguns minerais em outros, e intensa decomposição das superfícies, desagregando na presença de

água ou com choque mecânico); e muito alterada (os componentes mineralógicos, com exceção do quartzo, foram transformados pelo intemperismo químico, apresentando a estrutura da rocha matriz friável, e do ponto de vista geomecânico, se caracteriza como material de transição entre rocha e solo).

Alteração de rocha (intemperismo) é um processo natural e o primeiro a acontecer na pedogênese (formação de solo), quando o material de origem é uma rocha.

Segundo Jenny (*apud* Birkeland, 1974) os fatores principais na formação do solo podem ser expressos conforme a equação abaixo:

$$S \text{ ou } s = f(cl, o, r, p, t, \dots) \quad (01)$$

Onde  $S$  significa solo, mas poderia ser substituído por  $I$ , intemperismo;  $s$  é igual a alguma propriedade do solo mas poderia representar estágio de alteração;  $cl$ , o clima;  $o$  são os fatores biológicos;  $r$  é o relevo;  $p$  denota o material de origem;  $t$  é o tempo; e as reticências representam fatores não especificados, como por exemplo, a névoa salina.

A influência de cada um desses fatores nos minerais das rochas resultará na alteração da mesma.

Sabe-se que a água e a temperatura têm participação bastante efetiva na alteração de uma rocha, portanto o clima é um dos fatores preponderantes, principalmente quando quente e úmido.

Os fatores bióticos ou organismos são agentes de alteração química através dos produtos do seu metabolismo e decomposição e agentes de alteração física com pressões geradas pelo seu crescimento.

O relevo diz respeito à posição topográfica da rocha. Quando se encontra em superfícies íngremes, há pouca infiltração de água, além de intensa erosão; quando no vale, há maior participação da água além da possibilidade de deposição de sedimentos em sua superfície.

O material de origem significa a relação entre a formação da rocha e as novas condições impostas: qual o perfil da rocha-mãe (ígnea, metamórfica ou sedimentar), a composição (quantidade de Si), textura (fanerítica, afanítica ou porfiróide), a estrutura (planos) o pH do meio, a composição das soluções...

O tempo é um fator relativo. Toledo, Oliveira e Melfi (2000) afirmam:

“o tempo necessário para intemperizar uma determinada rocha depende dos outros fatores que controlam o intemperismo, principalmente da susceptibilidade dos constituintes minerais e do clima. Em condições de intemperismo pouco agressivas, é necessário um tempo mais longo de exposição às intempéries para haver o desenvolvimento de um perfil de alteração pois revela o período necessário para formação de um perfil de solo”.

Já na aplicação de rochas na construção civil, é fator de concordância entre diversos autores que as patologias da obra provêm não só da especificação da rocha, mas também das técnicas e materiais usados na lavra, no transporte, no beneficiamento, no armazenamento, e principalmente na instalação do material e na manutenção.

Maranhão (2002) afirma que “as manifestações patológicas nos revestimentos com placas de rocha podem decorrer do emprego de procedimentos inadequados em qualquer uma das etapas de processo de produção do revestimento, durante o seu uso e/ou em sua manutenção”.

Rolim Filho (2002) endossa dizendo que:

“[...] o Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, em análise dos mais diversos problemas de ordem patológica, apresentados no Nordeste, em rocha com fins ornamentais, concluiu que a grande maioria dessas patologias e pseudopatologias são oriundas dos procedimentos e materiais utilizados na fixação da pedra”.

Frasca (2003) resume as principais causas da degradação das rochas em: clima tropical (variações de temperatura e umidade); agentes de limpeza (uso de substâncias químicas); poluição ambiental; e cristalização de sais.

Olgay (1998, tradução nossa) define bem a interferência do clima na deterioração dos materiais em geral:

“A deterioração química depende, principalmente, da presença de água, chuva e alta umidade relativa [...]. As diferenças de temperatura afetam principalmente o aspecto físico dos materiais construtivos, produzindo variações em suas dimensões e com isso sua fissuração. As reações químicas produzem também efeitos secundários importantes e outros tipos de fenômenos que se aceleram logaritmicamente com o aumento da temperatura. A radiação excessiva ocasiona a deterioração dos materiais, em parte devido ao aumento das temperaturas e, em parte também, devido a ação fotoquímica dos raios (o qual se intensifica nas latitudes mais meridionais, devido ao ligeiro aumento da camada ultravioleta). Os agentes biológicos (tais como banco de algas, caracóis ou fungos) necessitam de umidade para poder subsistir; a deterioração será muito pequena a menos que a umidade relativa exceda 70%”.

Segundo Birkeland (1974), estas alterações podem ser de origem química e/ou física. A alteração física desintegra a rocha matriz em pedaços menores, sem alteração química ou mineralógica na composição. Já na alteração química, estas manifestações estão presentes.

Petrucci (1998) discrimina na Tabela 3.05 os agentes, as ações, os efeitos imediatos e os efeitos finais para ruína da pedra. Para ele, os efeitos podem ser mecânicos ou físico-químicos, gerando deformações, desgaste e degeneração, ocasionando a ruína total. Esses efeitos físicos são relativos à variação de temperatura e crescimento dos cristais, enquanto os químicos se devem a oxidação, hidratação e ação do CO<sub>2</sub>.

Tabela n. 3.05 – Agentes de ruína da pedra.

Agentes	Ações	Efeitos	Efeito Final
1. Cargas	Mecânicas	Deformações	Ruína e/ou perda de estética
2. Agentes atmosféricos			
3. Água pura	Físico-químicas	Desgaste	
4. Agentes agressivos (externos e internos)		Degeneração	

Fonte: Mod. PETRUCCI (1998).

A alteração física é resultado das tensões geradas no interior das rochas, que, para serem estabilizadas, provocam ruptura. Essa ruptura pode ocorrer através de planos de fratura, ou entre as superfícies dos grãos, conforme a constituição da rocha e o sentido da tensão aplicada.

Diferentes fatores podem gerar este tipo de alteração: erosão; expansões e retrações térmicas; cristalização de sais; ciclos de gelo e degelo; fogo; e outros agentes externos.

Uma das primeiras causas de fissuração das rochas no campo tem como agente a erosão. Para Birkeland (1974), ela provoca a despressurização da camada terrestre seguinte, originando assim expansão da mesma para cima (sentido sem confinamento), provocando rupturas nos planos de fratura orientados segundo a tensão provocada.

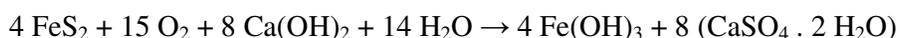
As variações de temperatura provocam dilatações diferenciadas nos constituintes minerais, gerando tensões contrárias, que de modo contínuo tendem a fissurar e desagregar a rocha. Esse tipo de agente é especialmente importante em áreas onde há uma grande amplitude térmica diária.

É o que endossa Thomaz (1989):

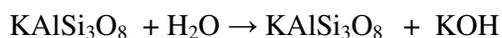
“[...] as movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura; a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material”.

O crescimento de cristais deve-se a penetração de agentes externos nos vazios pré-existentes, cristalizando-se e expandindo-se, gerando tensões que desagregam a estrutura existente. Ollier (1984, tradução nossa) ratifica: “O crescimento de cristais de sais da solução pode, em algumas circunstâncias, causar desagregação da rocha”. Cooke e Smalley (*apud* OLLIER, 1984) ressaltam que o crescimento de sal em espaço confinado pode causar estresse por expansão termal ou hidratação. Afirmam ainda que, dos minerais comuns, halita e gipsita são os mais eficientes, porém, sulfato de magnésio é o mais importante em materiais de construção.

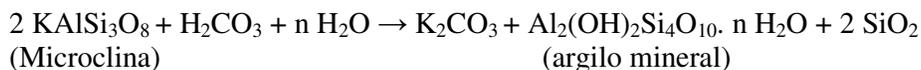
Dentre as alterações químicas, tem-se primeiramente a oxidação. Nos minerais com ferro bivalente, há a formação de compostos com ferro trivalente, alterando o aspecto estético, pois onde há a transformação, a coloração fica alaranjada ou avermelhada. Segundo Petrucci (1998), um dos principais processos é a oxidação dos sulfetos, encontrados nas rochas sob forma de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), marcassita ( $\text{FeS}_2$ ) ou pirrotita ( $\text{Fe}_{n-1}\text{S}_n$ ), que, na presença do ar e da água, apresentam a seguinte reação:



A hidratação e a hidrólise são outros fatores de degradação química. Quando hidratado, a água absorvida permanece nos capilares dos minerais. Esse contato dos cátions de hidrogênio com o mineral possibilita a hidrólise que dissocia parcialmente, em reação lenta, a água em cátions de hidrogênio e ânions de oxidrila, quebrando a estrutura cristalina do mineral, como mostra Leinz e Amaral (1995).



Ainda segundo Leinz e Amaral (1995), em uma outra modalidade de hidrólise, a água da chuva dissolve o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e parte se combina para gerar o ácido carbônico; a reação é a seguinte:



Frazão e Paraguassu (1998), comentam o que demonstra a equação acima: a alteração intempérica dos granitos propicia a formação de argilominerais (caulinita) a partir dos feldspatos e a desagregação da rocha em material areno-argiloso.

A ação do gás carbônico  $\text{CO}_2$ , também conhecida por carbonatação, é muito comum nos grandes centros urbanos e atinge principalmente as rochas calcárias, onde estão presentes a calcita  $\text{CaCO}_3$  e a dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Quando ocorre a reação dos minerais acima na presença de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , há a formação de bicarbonato de cálcio  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , que é lixiviado.



Segundo Thomaz (1989), na secagem de materiais porosos, a capilaridade provoca o aparecimento de forças de sucção, responsáveis pela condução da água até a superfície do componente, onde ela será posteriormente evaporada.

Quando a água conduzida carrega bicarbonato de cálcio e deposita-o na superfície das rochas chama-se o fenômeno de eflorescência. Essa lixiviação de material acarreta desagregação da rocha e manchas esbranquiçadas na superfície.

Alguns autores acrescentam ainda aos efeitos físicos as alterações relativas à mecânica do vento e da água e adicionam um outro efeito: dos organismos. Este último pode influir na degradação física, através de choques mecânicos; ou atuar como agentes no intemperismo químico.

Revestimento do tipo estudado, placas polidas de rocha, recebe tratamento na face que vai ser exposta ao ar, o polimento, que reduz a abertura dos poros, e em geral uma resina impermeabilizante. As faces laterais e posterior continuam com a porosidade natural, principalmente quando a ancoragem é química, para possibilitar a fixação das placas. Essa mesma porosidade pode também ser o caminho para a infiltração de elementos

desagregadores da rocha. E, uma vez a água e agentes agressivos na rocha, processa-se a alteração da mesma.

### **3.6 Normas e ensaios**

As normas e ensaios são procedimentos padronizados para se alcançar resultados precisos e passíveis de comparações sobre as propriedades de um elemento. Os ensaios realizados com as rochas são para avaliação do desempenho da mesma perante alterabilidade, determinando suas possíveis aplicações sem perder suas características principais.

Segundo Torquato e Torquato (2005) para o uso da rocha há duas metodologias de ensaio de alterabilidade/durabilidade: os métodos de análise não destrutivos e os métodos de análise destrutivos.

Para Aires Barros (*apud* TORQUATO e TORQUATO, 2005), “os principais métodos não destrutivos são: exames macroscópicos; análises fotográficas; análise de imagem; fotogrametria; termografia e termovisão; e determinações ultra-sônicas”. Complementa-se com perfilometria de linhas, análise do brilho e GPR.

Torquato e Torquato (2005) enumeram os métodos destrutivos mais importantes: exames com lupa binocular e microscópio petrográfico; espectroscopia dos raios infravermelhos; difratometria de Raios X; espectrometria de fluorescência de Raios X; espectrofotometria de absorção atômica; microscopia eletrônica de varredura; análise por microscopia eletrônica; espectrometria de massa por microsonda laser; e cromatografia iônica.

Esses ensaios são reunidos em três grupos por Torquato e Torquato (2005) conforme Quadro 3.01. Essas divisões definem o tipo de análise a ser feita, se através da composição da rocha, se por comparação a situações existentes semelhantes ou se por simulação em laboratório por ensaios acelerados ou em tempo real.

Quadro n. 3.01 – Representação esquemática dos vários tipos possíveis de ensaios tecnológicos referentes ao estudo da alterabilidade/durabilidade de uma rocha.

<b>ALTERABILIDADE / DURABILIDADE</b>	<b>Métodos Indiretos</b>	Caracterização petrofísica		
	<b>Métodos Comparativos</b>	Comparação de deteriorações		
	<b>Métodos Experimentais</b>	Em tempo real (Exposição às intempéries)		
		Acelerados (Ensaio de envelhecimento artificial)	Básicos	Ciclos de gelo – degelo
				Ciclos de molhagem - secagem
				Ciclos de cristalização de sais
		Acelerados (Ensaio de envelhecimento artificial)	Atmosferas Controladas	Atmosferas contaminadas
				Névoas salinas
				Chuvas ácidas
	Acelerados (Ensaio de envelhecimento artificial)	Outros	Ataque com soluções agressivas	
Exposição à radiações ultravioletas				
Desmoronamentos				
Ciclos térmicos				
		Ensaio Combinado		

Fonte: TORQUATO e TORQUATO (2005).

Para avaliação dos resultados propõem três tipos de metodologias, como mostra o Quadro 3.02. A definição do caminho a ser seguido estará condicionada a disponibilidade do material para ensaios.

Quadro n. 3.02 – Parâmetros usuais de avaliação da qualidade de uma rocha ornamental para uso como material de revestimento.

<b>AValiação dos Resultados</b>			
<b>ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL ACELERADO</b>	<b>Exames de Superfície</b>	Cor	
		Aspecto da superfície (rugosidade)	
		Danos: fissuração, grão desprendidos;	
		Análise digital de imagem etc.,	
	<b>Perdas de Peso</b>	Porcentagem no final do ensaio	
		Tipo de perda (de deterioração)	
	<b>Variações das Propriedades Físicas</b>	Porosidade / porometria	
		Propriedades relacionadas com a absorção de água:	Permeabilidade
			Capilaridade
		Propriedades Mecânicas	
	Propriedades dinâmicas (danos internos)		

Fonte: TORQUATO e TORQUATO (2005).

No Brasil, a sistematização das normas é regida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que, através das NBR (Normas Brasileiras), fixa os parâmetros. Há uma série de ensaios regulamentados pela ABNT sobre o uso de rochas para revestimento. São reguladores da nomenclatura, de projeto e principalmente de análise das propriedades das rochas. Entretanto, são normas ainda pouco abrangentes quanto aos ensaios de alterabilidade.

A abordagem a seguir será feita de acordo com os ensaios necessários para o uso de rochas de revestimento, em fachadas, pelas normas brasileiras.

A primeira norma utilizada diz respeito à terminologia de rochas e solos. É a NBR 6502 de 1995, chamada “Rochas e solos”. A Norma define termos de denominação de materiais da crosta terrestre utilizados nas Engenharias. Trata dos materiais quanto à definição, origem, forma de ocorrência, coloração, textura, composição química e estrutura.

Outra norma bastante abrangente é a NBR 13707 de 1996, denominada “Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha”. Determina as condições de projeto e aplicação de placas de rocha (tipo mármore, granitos ou similares) em paredes e estruturas. Regulamenta o uso da argamassa e dispositivos de fixação na aplicação das placas de rocha e discrimina o uso de juntas de movimentação.

Dentre os ensaios regulamentados para o conhecimento da composição e das propriedades das rochas para revestimento existem os para determinação de resistências à flexão, à compressão uniaxial, ao impacto de corpo duro e à compressão em face de ciclos de congelamento e degelo; de dilatação térmica; de determinação de massa específica, porosidade e absorção d’água aparentes; e a análise petrográfica.

As normas de resistência relativas às rochas para revestimento são as seguintes:

- NBR 12763/1992 - Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão;
- NBR 12764/1992 - Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro;
- NBR 12767/1992 - Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial;
- NBR 12769/1992 - Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão.

Essas Normas prescrevem os métodos para determinação das resistências, como aparelhagem necessária, preparação de corpos-de-prova e cálculo dos resultados, para rochas

que se destinam ao revestimento. Para revestimento de fachadas necessita-se da NBR 12763/1992 e da NBR 12769/1992. A última, no entanto, só é realizada em áreas sujeitas à temperaturas muito baixas.

As NBR 12765/1992 (Rochas para revestimento – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear) e NBR 12766 (Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente) são relativas à amostragem, aparelhagem e cálculo das propriedades acima citadas. São de fundamental importância para uso em revestimento de áreas externas.

A NBR 12768/1992, Rochas para revestimento – Análise petrográfica, é a que determina o método para execução do ensaio, definindo a aparelhagem, a amostragem, e o ensaio propriamente dito. É a justaposição de análises que poderá indicar se houve processo de alteração.

Para execução dos ensaios complementares se recorre às Normas Internacionais como a americana (ASTM - American Standard of Testing and Materials), as européias (CEN – European Committee for Standardization), entre outras.

As NBR são, entretanto, segundo Rolim Filho *et al.* (2005), baseadas nas normas americanas (ASTM American Standard of Testing and Materials), o que tem gerado algumas divergências acerca de alguns procedimentos de ensaio. Desacordos também ocorrem devido à infidelidade dos resultados de ensaios acelerados aos ensaios em tempo real. No entanto, esses ensaios são apenas parâmetros para o uso da rocha, tentando diminuir a probabilidade de alteração, aumentando a durabilidade, pois como afirmou Torquato & Torquato (2005), “uma

mesma rocha aplicada em dois locais, com condições ambientais diferentes (biológicas, físicas, químicas ou até mesmo antrópicas) pode apresentar ao fim de certo tempo índices de alterabilidade completamente diferentes”.

## **4 ESTUDO DE CASO: A OBRA**

A análise feita neste trabalho, baseou-se em um estudo de caso de uma obra onde foram encontradas placas de rochas de um tipo específico de granito, conhecido comercialmente por ‘cinza andorinha’, apresentando alterações diversas. Diante das observações das fachadas, foram formuladas algumas hipóteses as quais serão abordadas a seguir, após uma explanação sobre as condições climatológicas da região e sobre os aspectos gerais da edificação.

### **4.1 Climatologia regional**

#### **4.1.1 Características climatológicas gerais**

A edificação estudada está localizada na zona litorânea sul da Região Metropolitana de Recife [08°01’ de latitude sul; 34°51’ de longitude oeste segundo Frota e Schiffer (2003) apud Ministério da Agricultura - Instituto Nacional de Meteorologia, Normais Climatológicas, Rio de Janeiro, Períodos 1931/60, 1984 e 1961/90 1992], Região Nordeste do Brasil, caracterizando um clima tropical quente-úmido. (Ver distribuição climatológica do Brasil no mapa da Figura 4.01)



Figura n. 4.01 - Mapa climatológico simplificado do Brasil.

Fonte: FROTA E SCHIFFER (2003 *apud* Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Diretoria Técnica – SUEGE-SUPREN. Mapa “Brasil-climas” – 1978).

Os principais efeitos deste tipo de clima são altas temperaturas e grande quantidade de chuva, embora com pouca amplitude térmica. Não há estações do ano bem definidas. O mapa na seqüência, Figura 4.02, apresenta o grau de insolação do Brasil, estando a região estudada na faixa compreendida entre 2400 e 2700 horas anuais.

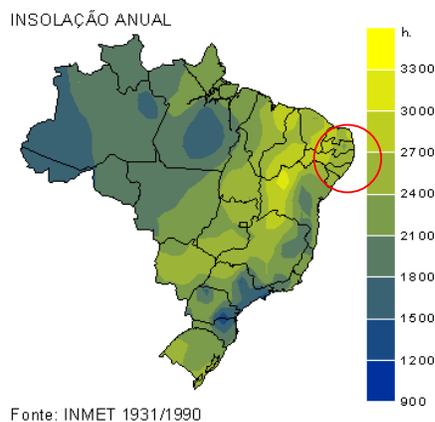


Figura n. 4.02 - Mapa de insolação anual do Brasil.

Fonte: INMET 1931/1990

A temperatura sofre pequenas variações permanecendo entre 19,7°C e 28,7°C em junho e entre 22,2°C e 31,0°C em dezembro, segundo Frota e Schiffer (2003) *apud* Ministério da

Agricultura - Instituto Nacional de Meteorologia, Normais Climatológicas, Rio de Janeiro, Períodos 1931/60, 1984 e 1961/90 1992. (Ver Tabela 4.01 e mapas constantes nas Figuras 4.03 e 4.04, com o comportamento médio da temperatura na região)

Tabela n. 4.01 – Dados de clima.

<b>Recife (Olinda)</b>					
	Média aritmética mensal da temperatura em °C	Média mensal das temperaturas máximas diárias em °C	Média mensal das temperaturas mínimas diárias em °C	Temperatura máxima observada no mês (média) em °C	Temperatura mínima observada no mês (média) em °C
março	27,0	30,0	24,1	31,5	22,0
junho	24,7	27,6	21,8	28,7	19,7
setembro	25,0	27,9	22,4	29,3	20,4
dezembro	26,7	29,8	24,2	31,0	22,2

Fonte: Mod. Frota e Schiffer (2003) apud Ministério da Agricultura - Instituto Nacional de Meteorologia, Normais Climatológicas, Rio de Janeiro, Períodos 1931/60, 1984 e 1961/90 1992.

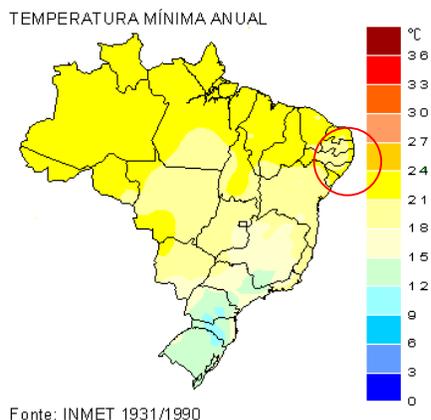


Figura n. 4.03 – Mapa de temperatura mínima anual.  
Fonte: INMET 1931/1990

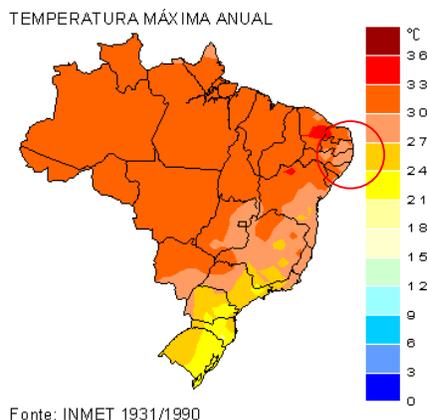


Figura n. 4.04 – Mapa de temperatura máxima anual.  
Fonte: INMET 1931/1990

A saturação do ar é bastante alta provocando umidade relativa média mensal na faixa de 83% em junho e 76% em dezembro (Figura 4.05). A média da precipitação total nos meses de junho e dezembro foi, respectivamente, 318mm e 40mm (Figura 4.06). Dados colhidos em Frota e Schiffer (2003) *apud* Ministério da Agricultura - Instituto Nacional de Meteorologia, Normais Climatológicas, Rio de Janeiro, Períodos 1931/60, 1984 e 1961/90 1992.

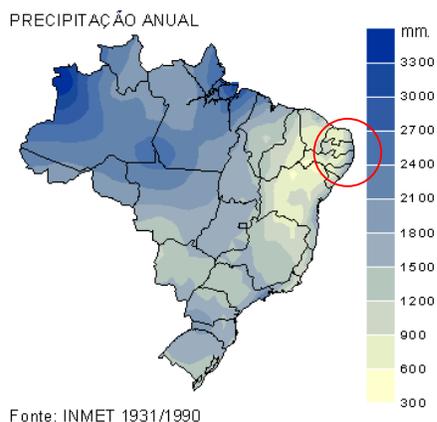


Figura n. 4.05 – Mapa de precipitação anual.  
Fonte: INMET 1931/1990

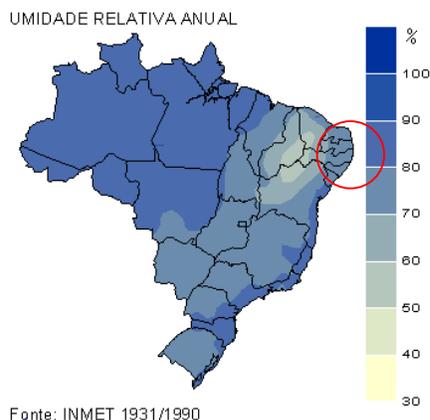


Figura n. 4.06 – Mapa de umidade relativa anual.  
Fonte: INMET 1931/1990

Os ventos são originados no Oceano Atlântico e chegam ao continente por duas direções predominantes: Nordeste (NE – de novembro a janeiro) e Sudeste (SE – de fevereiro a outubro). Segundo o mapa de isopletas da NBR 6123/1988, ‘Forças devidas ao vento em edificações’, o Recife está localizado em uma zona onde a velocidade máxima média é de 35 m/s.

A Tabela 4.02 traz um resumo da situação geográfica e climática do Recife.

Tabela n. 4.02 – Dados geográficos e climáticos do Recife.

	Latitude	Longitude	Clima	*Temperatura Máxima Anual	*Temperatura Mínima Anual	*Insolação Anual	*Precipitação Anual	*Umidade Relativa Anual	Vento – Direção Predominante	**Vento – Velocidade Média
<b>Recife</b>	08°01’ Sul	34°51’ Oeste	Quente úmido	27/30°C	21/24°C	2400/ 2700 horas	1800/ 2100 mm	70/80%	SE e NE	35 m/s

Fontes: Frota e Schiffer (2003); \*INMET 1931/1990; \*\*NBR 6123 (1988).

### 4.1.2 Considerações

Algumas considerações sobre radiação e ventilação serão feitas, para melhor compreensão do caso.

A radiação solar tem uma importância fundamental sobre a vida útil dos materiais, e seu efeito é mais intenso hoje devido à diminuição da camada de ozônio. É importante lembrar que a região abordada localiza-se perto da Linha do Equador, estando mais exposta à radiação solar. Olgyay (1998, tradução nossa) explica como se processa a absorção da radiação e esquematiza o processo na Figura 4.07:

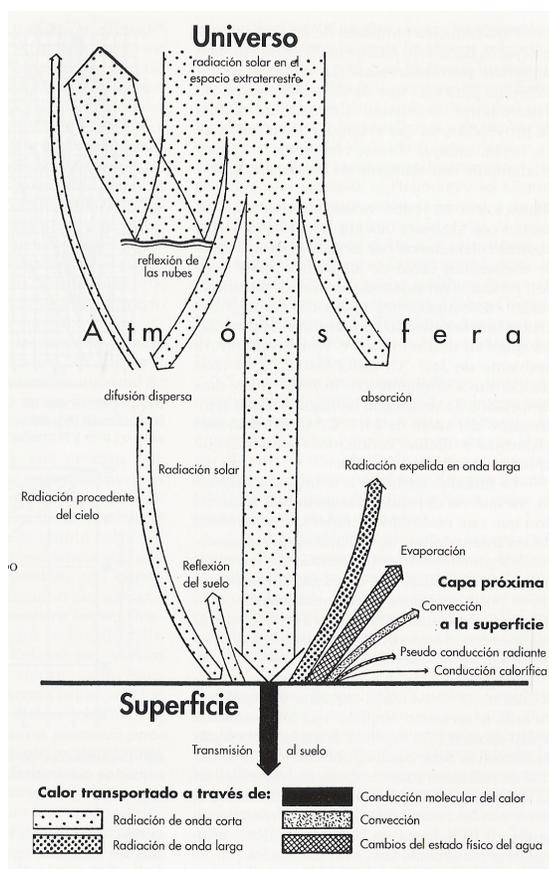


Figura n. 4.07 - Trocas de calor ao meio dia de um dia de verão.  
(A espessura das flechas corresponde às quantidades adequadas).  
Fonte:OLGYAY (1998 apud R. GEIGER), “the climate near the ground”.

“Parte da radiação incidente se reflete na superfície das nuvens, e parte é absorvida pelos componentes atmosféricos. Uma certa quantidade é dispersa por moléculas na atmosfera, mas parte da mesma se recupera como radiação difusa. Parte da radiação que incide sobre o solo é refletida pela superfície terrestre, mas a maior parte dessa energia é absorvida, se transforma em calor e eleva a temperatura do ar, do solo e dos objetos que se encontram ao redor”.

Outro ponto a ser destacado é a presença das brisas marinhas em regiões litorâneas. Esse tipo de ventilação tem como desencadeante a diferença entre o calor específico da água e o da terra. De dia a terra esquenta mais rápido que a água, tornando a pressão negativa no continente e, conseqüentemente, produzindo correntes de ar do mar para terra. À noite, o sentido é invertido, pois a água perde calor mais lentamente, ficando com o gradiente negativo. (Ver Figura 4.08)

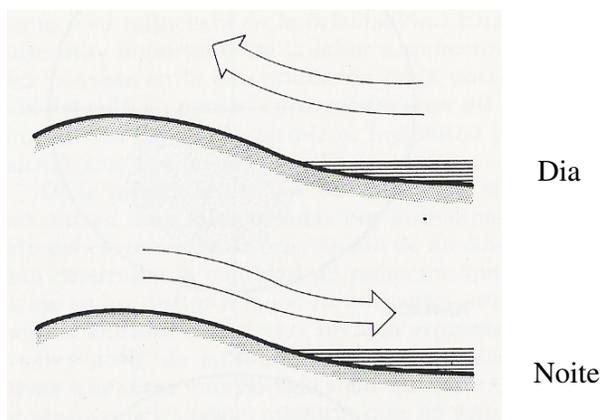


Figura n. 4.08 - Movimento do ar perto de uma massa de água.  
Fonte: OLGAY (1998)

Uma terceira observação diz respeito à posição geográfica de uma edificação em relação aos ventos dominantes. Um estudo, representado pelas Figuras 4.09 e 4.10, foi realizado por OLGAY (1998) em túnel de vento bidimensional, com maquetes fabricadas

em plexiglas, e demonstra claramente o efeito do vento, zonas de baixa e alta pressão, em relação à posição da edificação.

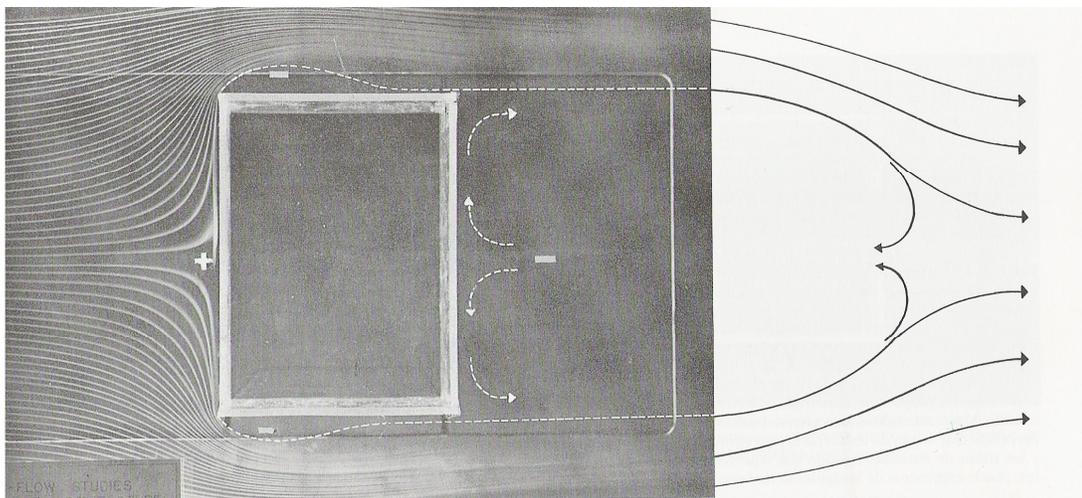


Figura n. 4.09 - Modelo de movimento do ar no entorno de um edifício.  
Fonte: OLGAYAY (1998).

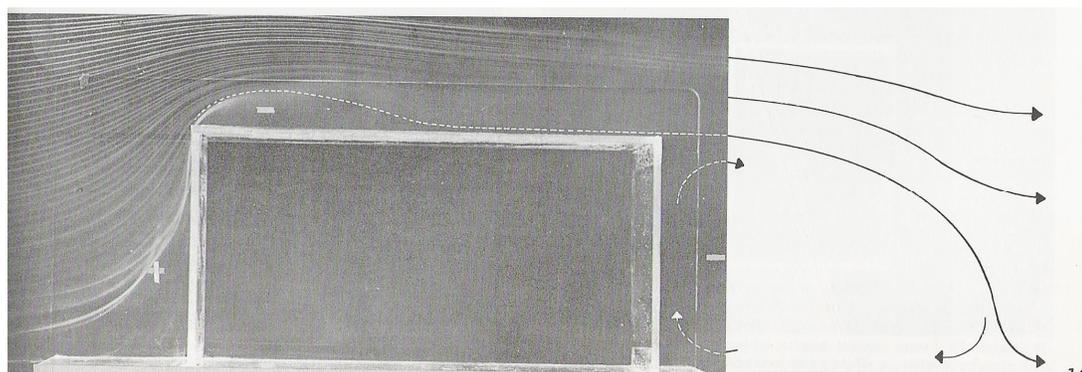


Figura n. 4.10 - Modelo de movimento do ar no corte de um edifício.  
Fonte: OLGAYAY (1998).

Segundo a NBR 6123 (1988), Forças devidas ao vento em edificações, “Zonas com altas sucções aparecem junto às arestas de paredes e de telhados, e têm sua localização dependendo do ângulo de incidência do vento”.

Para Ferreira (2005) “as áreas dos cantos das fachadas laterais e os cantos da linha de cobertura são as áreas de carga máxima de sucção e estas áreas são chamadas ÁREAS DE BORDA”.

Existem ainda os ‘Efeitos de vizinhança’ citados na NBR 6123 (1988), os quais podem ser entendidos como situações diferenciais da atuação do vento de acordo com os elementos circunvizinhos. Dentre eles, dois efeitos têm influência importante neste estudo: o ‘Efeito Venturi’ e o ‘Efeito por deflexão do vento na direção vertical’.

O Venturi diz, segundo a NBR 6123 (1988): “Edificações vizinhas podem, por suas dimensões, forma e orientação, causar um ‘afunilamento’ do vento, acelerando o fluxo do ar, com conseqüente alteração nas pressões. [...]. Essas pontas de sucção verificam-se nas paredes confrontantes das duas edificações, próximo à aresta de barlavento”.

Já o Efeito por deflexão do vento na direção vertical, de acordo com a NBR 6123 (1988), afirma: “Edificações altas defletem para baixo parte do vento que incide em sua fachada de barlavento, aumentando a velocidade em zonas próximas ao solo. Edificações mais baixas, situadas nestas zonas, poderão ter as cargas do vento aumentadas por este efeito, com os coeficientes de forma atingindo valores entre -1,5 e -2,0”.

Logo, além das cargas atuantes diretas como o vento, ainda há a existência das zonas de forças negativas, geradas por condicionantes do entorno, criando forças de sucção ou originando golpes.

## **4.2 Caracterização da obra**

### **4.2.1 Localização e características gerais**

A edificação, que se encontra na orla marítima sul da Região Metropolitana de Recife, tem pouco mais de dez anos. O prédio possui vinte pavimentos tipo e está ladeado por outras

edificações de grande porte. A estrutura foi executada em concreto armado com fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos. Sua área de fachada corresponde a mais de três mil metros quadrados de revestimento, subdivididos entre cerâmica 100x100 mm, pastilhas, placas de rocha de um granito na cor preta e predominantemente placas de rocha do granito ‘cinza andorinha’ com dimensões entre 200x200 mm, 200x400 mm e 400x700 mm. O sistema de fixação desses revestimentos foi através de argamassa de assentamento, e, no caso da maioria das placas de rocha do granito ‘cinza andorinha’, houve o auxílio de grampos.

A ABIROCHAS (2006) traça os seguintes parâmetros médios de comportamento do granito ‘cinza andorinha’ segundo as propriedades mais exigidas. Na Tabela 4.03 os índices alcançados pelo mesmo estão expostos. De acordo com a Tabela 3.02, com valores exigidos pelas normas alemãs, Deutches Institut für Normung (DIN), o granito ‘cinza andorinha’ não atenderia ao item de resistência à compressão da pedra seca, estando os demais dentro do admissível para uso.

Tabela n. 4.03 – Propriedades do granito ‘cinza andorinha’.

Material/ Propriedade	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	Porosidade total %	Absorção de água (%)	Resistência à compressão da pedra seca (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistência à tração na flexão (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Dilatação (mm/m°C *10 <sup>-3</sup> )
Granito ‘Cinza Andorinha’	2,70	0,83	0,31	1515	126,3	7,1

Fonte: ABIROCHAS (2006).

O granito na cor preta apresenta-se em placas de dimensão 300x300 mm, sendo aplicado como detalhe nas paginações das fachadas Norte e Sul. O mesmo não pôde ser analisado, pois não havia amostras disponíveis do material. As duas únicas placas que se descolaram foram repostas na fachada.

## 4.2.2 Descrição das fachadas

### 4.2.2.1 Fachada Norte

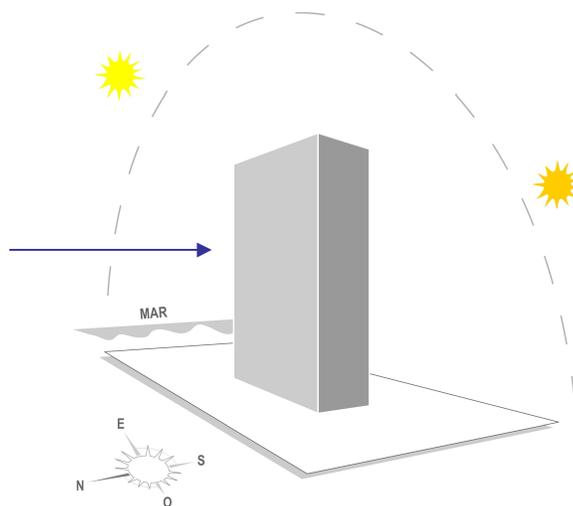


Figura 4.11 – Identificação da fachada em análise - Norte

Esta fachada apresenta aberturas (esquadrias, varandas e ou rasgos) em cerca de 45% de sua área (Ver Figura 4.11). O trecho central, juntamente com o próximo à fachada oeste, tem volumetria saliente ao corpo do edifício e é nele onde estão localizadas 70% das aberturas como janelas e reentrâncias para ar condicionado. Apresenta materiais de revestimento diferentes, com dimensões distintas: cerâmica escura fixada por colagem; granito, com pigmentos escuros, também fixado por colagem (corpo saliente da edificação); e um granito com pigmentos cinza e creme, o ‘cinza andorinha’, colado com argamassa e grampos. O granito escuro não exibe problemas visíveis de alteração, já o ‘cinza andorinha’ apresenta diferença de tonalidades quanto à época de aplicação: o material mais novo (peças repostas) apresenta-se mais cinza, enquanto que o antigo tem aparência ocre.

#### 4.2.2.2 Fachada Leste

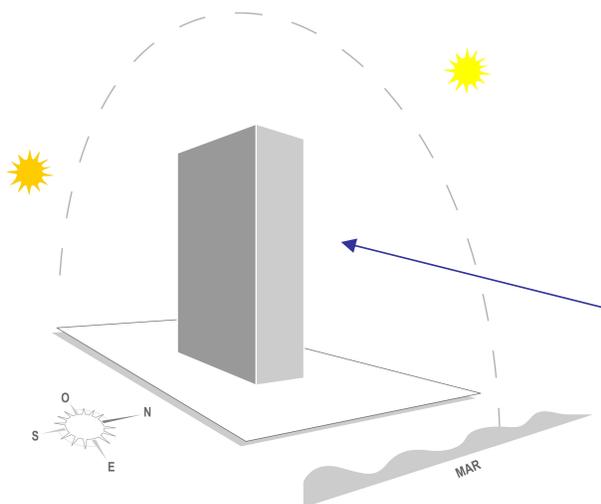


Figura 4.12 – Identificação da fachada em análise - Leste

Cerca de 55% de sua superfície é vazada. Metade de sua área corresponde a uma volumetria em balanço. É a face da edificação mais sujeita as chuvas, ventos e a névoa salina; fachada de barlavento (Ver Figura 4.12). Como revestimento existe o granito ‘cinza andorinha’ em diferentes dimensões: as placas menores (200x200mm) coladas com argamassa, as placas maiores (200x700mm) fixadas na base da edificação com argamassa e auxílio de grampos e as de 200x400mm, predominantes em todo pano da fachada, com a mesma fixação.

#### 4.2.2.3 Fachada Sul

Além de bastante recortada por reentrâncias e saliências, esta fachada (Ver Figura 4.13) possui cerca de 40% de sua área com fenestrações. Possui aberturas com e sem esquadrias, além de rasgos para instalação de ar condicionado. Encontram-se revestimentos diversos com predomínio do granito ‘cinza andorinha’ na dimensão de 200x400mm, colado com argamassa com o auxílio grampos.

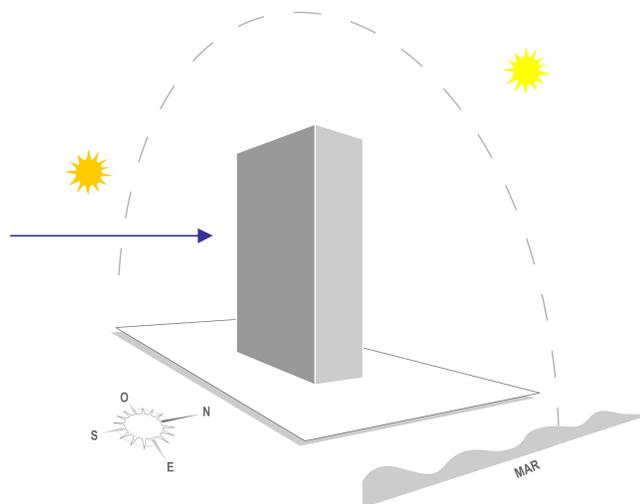


Figura 4.13 – Identificação da fachada em análise - Sul

#### 4.2.2.4 Fachada Oeste

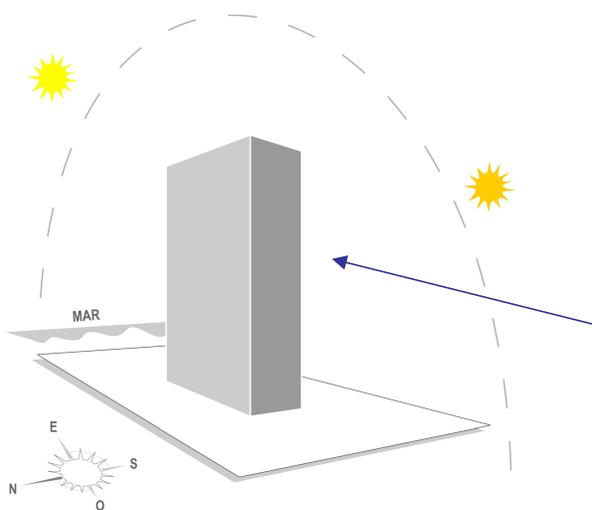


Figura 4.14 – Identificação da fachada em análise - Oeste

Esta é a fachada poente (Ver Figura 4.14), de sotavento, e as fenestrações correspondem apenas a 5% da superfície da fachada. Forma dois planos cegos, com uma pequena saliência originada pelo avanço de um grupo de esquadrias da face sul. Apresenta como material de revestimento predominante o granito ‘cinza andorinha’ de tamanho

200x400 mm, fixado por argamassa com auxílio de grampos; existem pastilhas somente como detalhe nas aberturas.

### **4.3 Histórico e análise das patologias**

A seguir, o processo de detecção e análise do problema segundo o método proposto por Lichtenstein (1986) para procedimentos de análise de edificações com patologias.

#### **4.3.1 Manifestação do problema**

Os técnicos foram contatados pelos moradores devido à infiltração nas paredes de alguns apartamentos (últimos pavimentos superiores). Acreditavam ser a rocha muito porosa, ocasionando a patologia. Problemas adicionais com estrutura e qualidade do material usado em outras áreas do edifício também foram apontados secundariamente.

#### **4.3.2 Vistoria**

Na primeira vistoria foram observados alguns pontos.

- Ausência de juntas de dilatação (vertical e horizontal) nas fachadas Norte, Leste e Sul. Ausência de juntas de dilatação vertical na fachada Oeste.
- Ausência de tratamento diferenciado entre materiais aplicados em planos com diferentes orientações (horizontal X vertical) como parapeitos de varandas e janelas. Na Figura 4.15 tem-se o chapim do parapeito do terraço da cobertura nivelado com o plano vertical, favorecendo a ocorrência de fissuras no rejunte entre as peças. Na foto observa-se material escorrido depositado sobre a fachada.

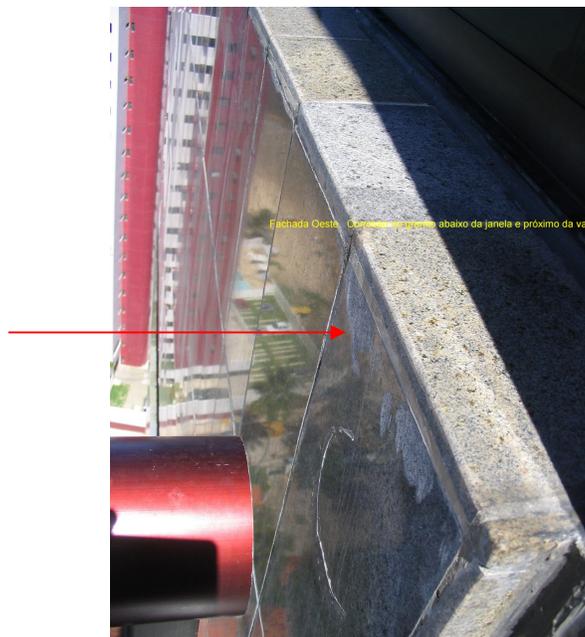


Figura n. 4.15 - Aplicação de placa de rocha no parapeito.

- Placas de rocha tipo granito ‘cinza andorinha’ com aparência alterada, com manchas – as placas apresentavam as partes centrais mais escuras que as bordas. Esta diferença de tonalidade estava presente em todas as fachadas, inclusive em outro tipo de granito que faz um detalhe na fachada Leste; entretanto, as manchas eram mais intensas nos pavimentos inferiores e abaixo das aberturas (janelas, varandas, vãos para ar condicionado e área de serviço). Logo, as fachadas Leste (barlavento) e Sul eram as mais deterioradas. A Figura 4.16 mostra detalhe da alteração do granito ‘cinza andorinha’ na fachada Leste, enquanto que a Figura 4.17 exemplifica as peças escuras do outro granito manchadas pela infiltração na base da fachada Sul.



Figura n. 4.16 - Manchas nas placas de rocha do granito 'cinza andorinha'.



Figura n. 4.17 - Manchas nas placas de rocha do granito escuro (detalhe fachada Sul).

- Placas de rocha tipo granito 'cinza andorinha' com aparência manchada devido à oxidação dos grampos de fixação da placa (principalmente nas áreas próximas às aberturas). A Figura 4.18 mostra em detalhe as placas aplicadas sobre uma viga do térreo, na fachada a barlavento.

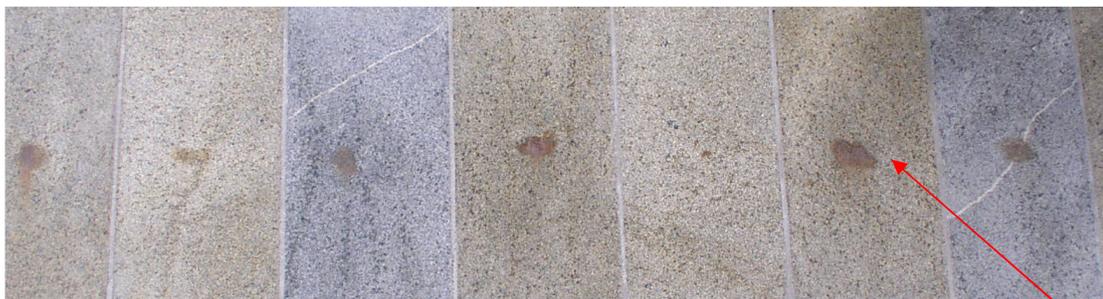


Figura n. 4.18 - Placas com manchas por oxidação de grampos.

- Placas de rocha tipo granito com aparência alterada por oxidação de minerais. Na Figura 4.19 observam-se pigmentos com coloração ‘amarronzada’ devido à alteração de minerais com ferro divalente. Esta fotografia foi tirada de uma placa assentada como chapim na cobertura.

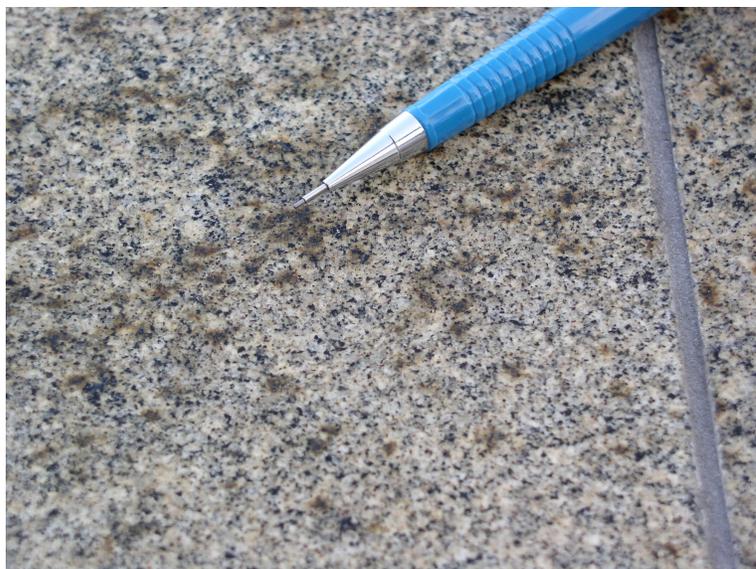


Figura n. 4.19 - Oxidação de minerais do granito.

- Presença de manchas esbranquiçadas sobre a fachada devido à eflorescência, carreamento de material da argamassa e rejunte e deposição sobre a superfície. A Figura 4.20 mostra, no detalhe, as manchas causadas pelo escorrimento do material de assentamento nas placas do primeiro pavimento da fachada Sul.



Figura n. 4.20 - Manchas por eflorescência.

- Formação de estalactites abaixo das vigas externas do terraço da cobertura (fachada Norte) devido ao carreamento de material da argamassa. (Ver Figura 4.21)



Figura n. 4.21 - Estalactites resultado da eflorescência.

- Desplacamento do revestimento pétreo na fachada Norte em áreas e alturas diversas. O campo exposto a essa fachada encontrava-se interditado.

- Poucas placas de rocha com fissuras, e com presença de material carreado da argamassa nessas fendas. A Figura 4.22 mostra em detalhe placas fissuradas no revestimento do terraço da cobertura, na face Norte.



Figura n. 4.22 - Fissuração das placas de rocha.

- Desplacamento de cerâmica na fachada Norte próximo da zona de borda com a fachada Oeste.
- Ausência de respingadores nas aberturas e nos encontros entre planos distintos permitindo, devido à ação do vento, que a água que escorre pela empena da fachada continue o fluxo na face horizontal, não sendo defletida para fora do plano. O fenômeno ocorre em todas as fachadas, com intensidade variável de acordo com os ventos incidentes, com a quantidade de água na fachada e com a altura da abertura. A Figura 4.23 mostra o encontro da empena da fachada Sul com a superfície horizontal da viga de bordo, no pavimento térreo.



Figura n. 4.23 - Acabamento entre a fachada e a viga de bordo.

- Ausência de drenagem para ar condicionado (fachadas Norte e Sul), com formação de microorganismos devido à umidade excessiva. Apresenta-se na Figura 4.24 a ocorrência registrada na parte posterior do primeiro pavimento da fachada Sul: foi colocada uma mangueira para drenagem da água, porém não foi suficiente para evitar o acúmulo de umidade na área.

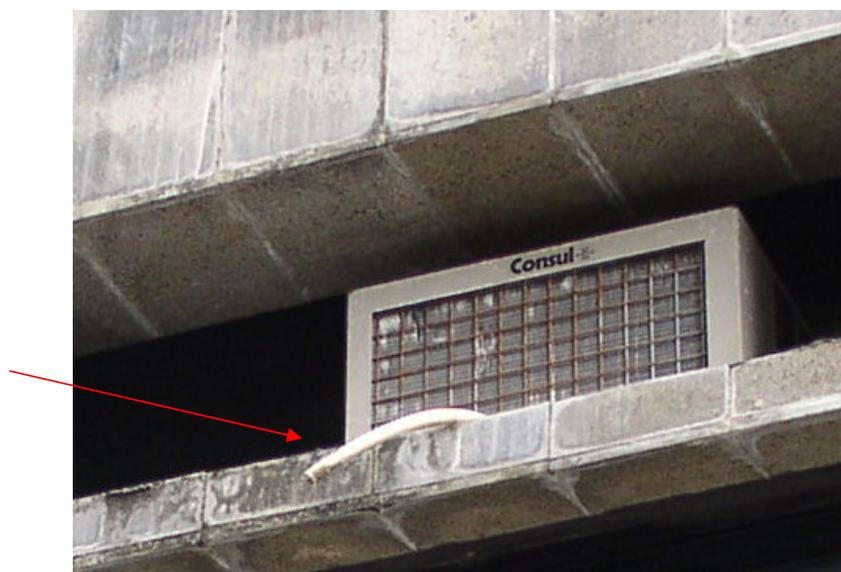


Figura n. 4.24 - Drenagem do ar condicionado.

- Presença de ataque biológico (microorganismos) em algumas áreas da fachada, especialmente nas sujeitas a muita umidade, como na Figura 4.25, que representa a face externa da área de serviço, na fachada Sul, próximo à fachada Oeste.



Figura n. 4.25 - Manchas provocadas por colônias de microorganismos.

- Infiltração em paredes internas (principalmente nos pavimentos inferiores e nos próximos a cobertura). A Figura 4.26 retrata a situação ocorrida no penúltimo lance da caixa de escada, fachada Sul.



Figura n. 4.26 - Infiltração na parede interna da escada.

### 4.3.3 Anamnese

Algumas informações adicionais foram coletadas com o gerente do condomínio e com o síndico.

- Um ano após entrega do edifício, um pano de cerca de vinte metros quadrados do revestimento da fachada Oeste caiu espontaneamente (área de bordo da linha de cobertura). As tensões impostas sobre o revestimento não foram absorvidas devido à ausência das juntas de dilatação.
- Após o incidente, foram feitas as juntas de dilatação horizontal nesta fachada, cortando o revestimento existente. Não foram feitas juntas verticais, apesar da grande extensão de aplicação do revestimento em um mesmo plano. Na Figura 4.27 está retratado o trecho entre o quarto e quinto pavimento da fachada Oeste. As outras fachadas não sofreram intervenções quanto à aplicação de juntas, apesar da diversidade de materiais aplicados e das dimensões da fachada.



Figura n. 4.27 - Aplicação de juntas de dilatação horizontais na fachada.

- Placas avulsas continuaram caindo no decorrer do tempo em todas as fachadas, em áreas e alturas diversas, sendo repostas pelo mesmo material, em situação de aplicação similar. Na Figura 4.28 a reposição recente de placas na fachada Norte, próximo ao limite com a fachada Leste, nos pavimentos inferiores;

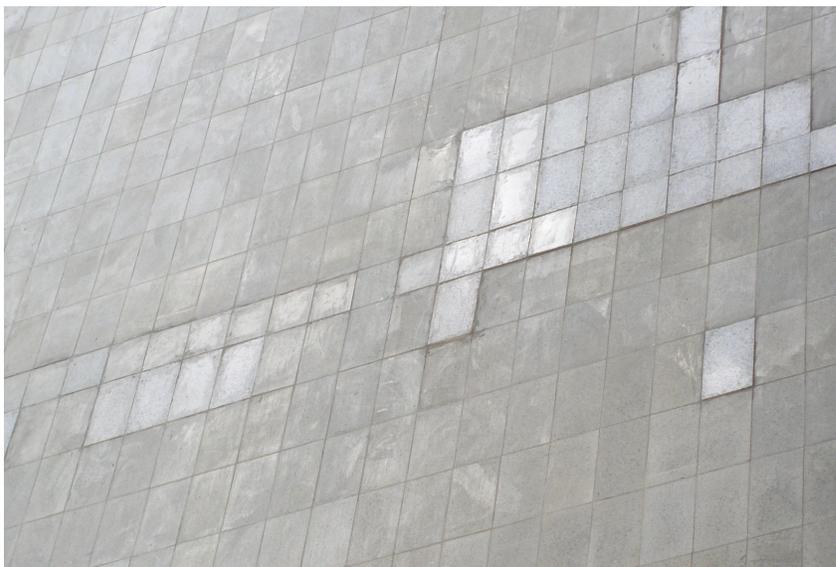


Figura n. 4.28 - Reposição de placas na fachada.

#### 4.3.4 Exames complementares

Alguns exames destrutivos foram executados para complementação dos dados, como a retirada do material de rejuntamento e a análise das placas de granito ‘cinza andorinha’.

- Retirada do rejuntamento de algumas áreas da fachada, onde foi constatada a presença de vazios na argamassa de assentamento (material mal aplicado na execução), criando bolsões de ar sob as placas de rocha (entre a rocha e o suporte). Nas Figuras 4.29 e 4.30 vê-se, através do encontro entre as placas, os vazios deixados no assentamento do material. As fotografias retratam a parte central da fachada Oeste no pavimento térreo.

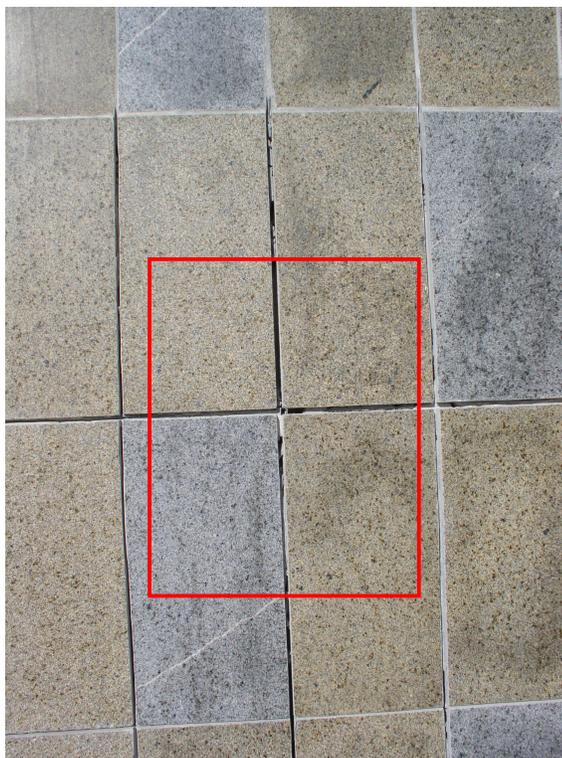


Figura n. 4.29 - Retirada do rejunte.

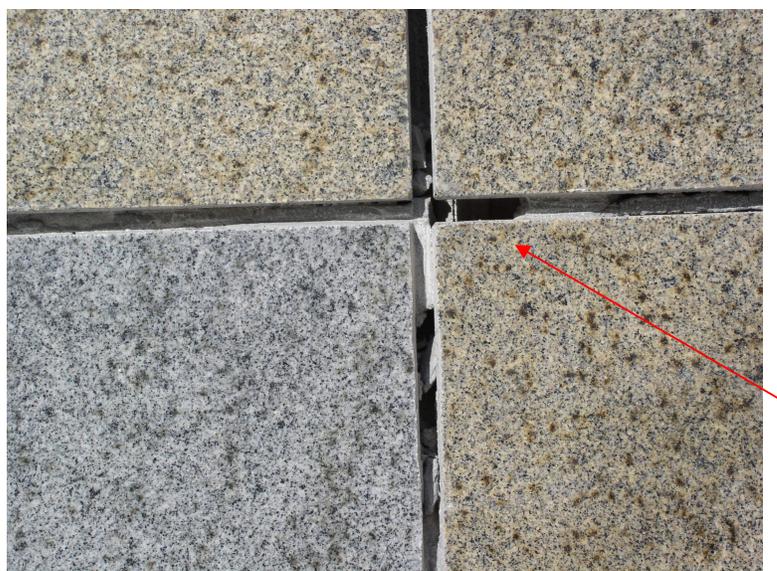


Figura n. 4.30 – Detalhe dos vazios existentes sob as placas.

- Com a retirada do rejunte, observou-se a presença de água nos bolsões de ar formados. A água tinha caminho livre para percolação entre o revestimento e o substrato em toda fachada, indo acumular-se nas partes inferiores, por onde

não tinha como sair. A Figura 4.31 mostra a remoção do rejunte das placas do pavimento térreo, na parte frontal da fachada Sul. Quando se passou a maquina, a água armazenada nos pavimentos inferiores minou por entre as placas. A Figura 4.32 retrata o recolhimento da água represada sob as placas da varanda na fachada a barlavento no final de setembro (temperatura em elevação).

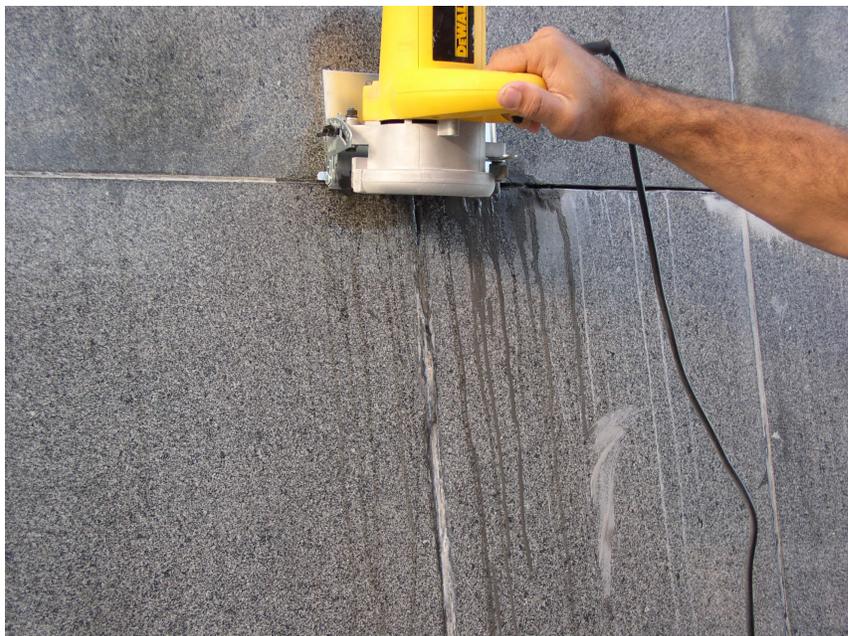


Figura n. 4.31 - Água represada sob as placas.



Figura n. 4.32 - Recolhimento da água armazenada sob as placas.

- Algumas áreas de revestimento perderam aderência e ruíram com a retirada do rejunte. Nas fachadas Norte, Leste e Sul (ver Figura 4.33) as placas caíram limpas, ou seja, sem argamassa; já na fachada Oeste (ver Figura 4.34) arrastaram consigo a argamassa de assentamento.



Figura n. 4.33 - Desplacamento na fachada Sul.



Figura n. 4.34 - Desplacamento na fachada Oeste.

- Sem o revestimento, foi feita uma análise melhor do método construtivo e constatou-se a ausência de tela de suporte para a ancoragem dos grampos fixados nas placas. A Figura 4.35 representa o substrato na face de encontro entre as fachadas Norte e Oeste, no segundo pavimento tipo.



Figura n. 4.35 - Área com deslocamento – substrato, argamassa e placa.

- No exame das placas de rocha que ruíram, observou-se a presença de grampos não galvanizados, os quais estavam sempre fixados às placas, mesmo nas situações em que a argamassa permaneceu fixada ao substrato.
- Espessura variável da argamassa de assentamento devido à execução, a fim de corrigir o nivelamento das placas da fachada. A variação entre camadas foi da ordem de 20 mm, aumentando o peso do conjunto e sobrecarregando ainda mais os grampos. (Observar Figuras 4.36 e 4.37)



Figura n. 4.36 - Espessura da argamassa de assentamento.



Figura n. 4.37 - Espessura da argamassa de assentamento.

- Argamassa não preenchia totalmente o tardo das placas. O fato pode ser observado na Figura 4.38, onde através das placas aplicadas no térreo da fachada Oeste é possível identificar os vazios presentes na argamassa. Já na Figura 4.39 observam-se as diversas camadas formadas pelo assentamento da argamassa na placa, gerando superfícies irregulares, originando espaços não preenchidos totalmente. Na Figura 4.40 o tardo da placa extraída da fachada Sul apresenta-se limpo (sem argamassa); no entanto, há manchas que delimitam o espaço ocupado pela camada do material de assentamento.

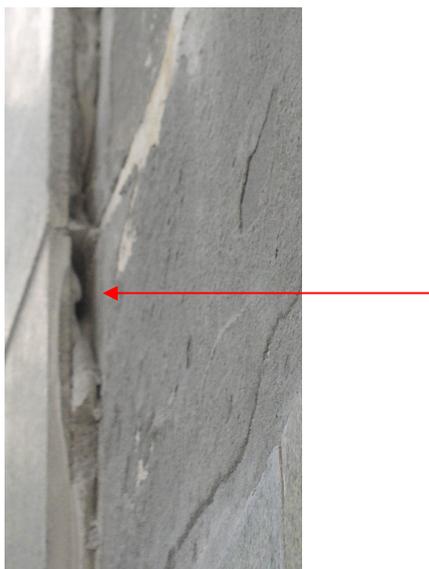


Figura n. 4.38 - Vazios entre a placa e o substrato.

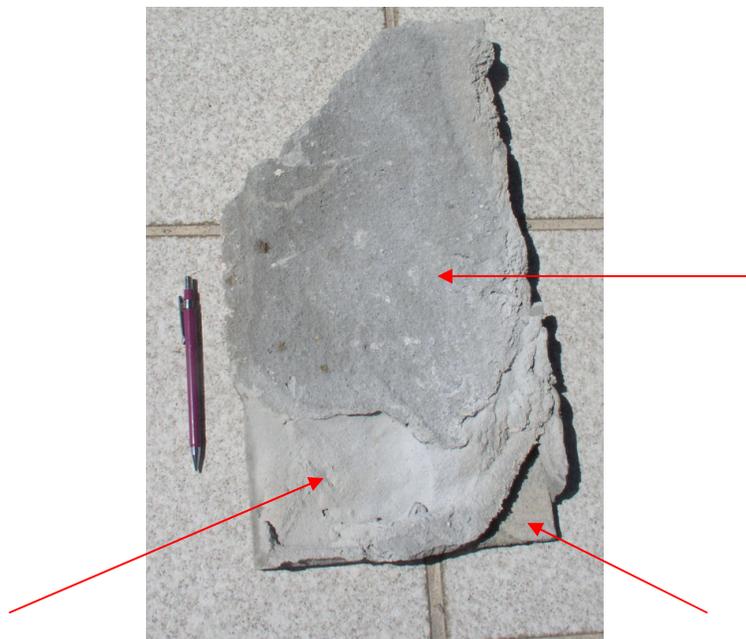


Figura n. 4.39 - Argamassa com preenchimento do tardez em diferentes camadas.

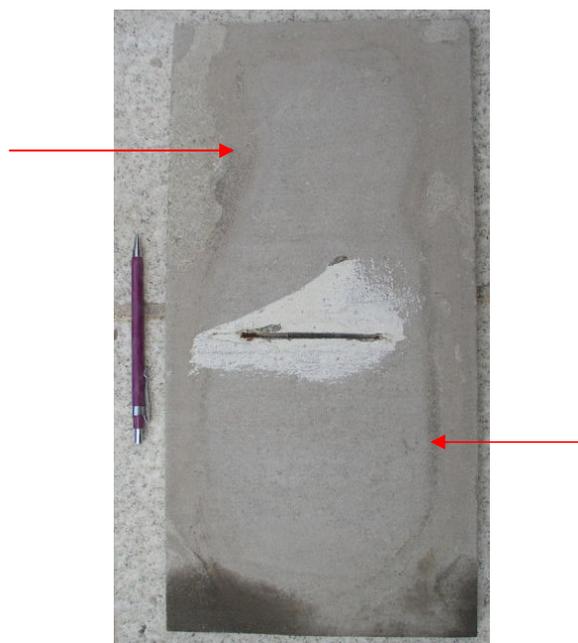


Figura n. 4.40 - Mancha delimitando a aplicação da argamassa.

- As “manchas” presentes nas placas de rocha eram descamações na superfície das placas, ocasionando a perda do polimento (ver Figura 4.41). A superfície escura retrata a rocha inalterada e as partes claras as áreas alteradas.

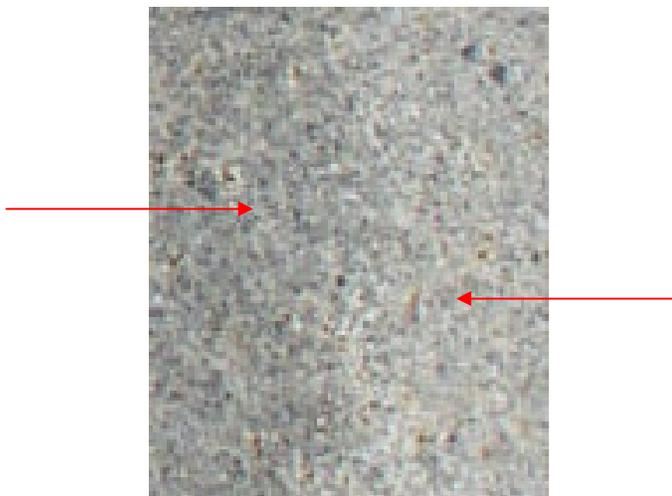


Figura n. 4.41 - Alterações de cor e textura na superfície da placa.

- A grande maioria dos grampos estava em processo de oxidação provocado pela água infiltrada através do rejunte fraturado. Em várias placas o manchamento resultante da oxidação chegou a contaminar até a superfície externa da rocha; mas em pouquíssimas a expansão do grampo gerou fissuramento. A Figura 4.42 que mostra detalhes de placas que ruíram da fachada Sul.



Figura n. 4.42 - Alterações provocadas pela oxidação dos grampos.

#### 4.4 Diagnóstico

As observações feitas durante o processo de estudo de caso levaram à seguinte análise da situação.

Dentre todas as funções de um revestimento de fachada a principal talvez seja a de manter-se íntegro, pois é através dessa integridade que poderá exercer as funções de proteção, segurança e estética. Na obra em questão, alguns pontos relativos à especificação de materiais, ao detalhamento de projeto, à execução e a falta de manutenção fragilizaram essa integridade.

Em primeiro lugar, o revestimento de uma fachada tem que ser preparado para absorver tensões internas e externas. Recalques de fundação e movimentações estruturais são inerentes às edificações. Além delas, existe o efeito provocado pelo vento, principalmente na situação em que a edificação se encontra: a beira mar, edificação de grande altura e profundidade com vizinhança semelhante, fachada a barlavento totalmente descoberta e 'Efeito Venturi'. Igualmente, existem tensões provocadas pela dilatação térmica: aplicações do mesmo material em situação de relevo distintos expondo-os de maneiras diferentes à radiação e a insolação (material aplicado de topo e no plano perpendicular); aplicações de materiais de dimensões e composições distintas em um mesmo plano (comportamento díspar).

A maneira usualmente lançada, na fachada, para absorver as tensões é o uso de juntas de dilatação, verticais e horizontais. Na detecção e análise do problema da edificação foi verificada a ausência das mesmas nas fachadas Norte, Leste e Sul. Na fachada Oeste (poente, de sotavento) foram colocadas juntas de dilatação horizontais somente depois da queda de revestimento da área localizada na zona de borda superior (força de sucção positiva). Esse

distensionamento brusco também provocou acomodação do revestimento e pequenos deslocamentos em áreas confinantes a essas juntas.

Já no caso das tensões provocadas em planos diferenciais (parapeitos e chapins), não houve transposição de planos como forma de diminuir as tensões nessas áreas. A falta de respingadores também foi fator prejudicial às caixas de ar condicionado das fachadas Norte e Sul que, devido à drenagem ineficiente, acumulou água sobre as placas, gerando maior umidade, propiciando inclusive, o surgimento de microorganismos.

Essa deficiência na absorção das tensões provocou a fissuração no rejunte, o qual não teve elasticidade suficiente para suportar as movimentações, e, conseqüentemente, possibilitou a infiltração de água entre o revestimento e o substrato. Essa infiltração foi mais freqüente nas áreas próximas às aberturas da fachada (janelas, varandas, terraços, caixas para ar condicionado), especialmente na fachada Leste e Sul, e encontros entre planos (vigas da cobertura e do térreo).

Juntamente a esses detalhes construtivos, alguns problemas de execução podem ser enumerados.

O primeiro diz respeito a uma das técnicas de aplicação escolhida: fixação de placas de rocha por método aderente com auxílio de grampos. Neste tipo de sistema, o uso do grampo só é eficaz quando existe uma ancoragem para o mesmo, no suporte. No caso em questão, não há tela metálica para ancoragem dos grampos; ou seja: eles são fixados diretamente à placa e ao substrato. A fixação extra é restrita à área do grampo e é ainda mais complexa, pois foram usados grampos oxidáveis em situação totalmente adversa (fachada,

ambiente sujeito à brisa marinha, umidade excessiva). Quando há oxidação do grampo, situação encontrada em todas as fachadas e em diferentes alturas, o mesmo se expande desagregando o material circundante, perdendo toda e qualquer aderência. O uso de placas de 10mm também não é recomendado nesta forma de utilização, devido aos diversos esforços a que as placas estão expostas, e, especialmente, quando a aplicação do grampo é centralizada e diminui-se a secção da placa para fixação do mesmo.

Outro fator importante na fase de execução é a aplicação da argamassa. Na edificação, foram encontradas, em todas as fachadas, diferentes espessuras do material além de que o tardo das placas não estava totalmente preenchido, deixando vazios perceptíveis com o deslocamento. A dificuldade de umidificação do substrato e do revestimento na fase de execução (fraca 'ponte de aderência') também deve ter auxiliado para o maior deslocamento da fachada Oeste (poente).

Enfim, a água infiltrada, através das fissuras nos rejunte, percolou pelo tardo das placas, e encontrou livre caminho entre os vazios deixados na argamassa durante o assentamento. A água acumulou-se nos bolsões de ar formados, infiltrando-se nas paredes internas da edificação, ou foi succionada por forças de capilaridade para a superfície das placas. Neste processo, houve o carreamento de material da argamassa e rejunte, e uma parte foi depositada sobre a fachada, fenômeno da eflorescência, e outra parte se inseriu nos vazios intergranulares da rocha, causando a alteração da mesma. Depois que os grampos oxidaram e que a argamassa teve parte de sua massa carregada, as áreas de rejunte íntegro ajudaram a escorar o revestimento. Quando este foi removido, houve deslocamento em diversas áreas das fachadas, chegando a mais de 50% na fachada Oeste.

Não existem parâmetros para dimensionar, com precisão, quais das patologias acometeram com maior intensidade cada ponto das fachadas. O que se pode relacionar é que:

- a lixiviação de argamassa e rejunte ocorreu em todas as fachadas, pois o material escorrido sobre o revestimento foi encontrado em todas elas, independente da altura do pavimento ou quantidade de aberturas;
- as placas manchadas estavam presentes em todas as faces, contudo, as situadas abaixo das aberturas nas fachadas Leste (barlavento) e Sul estavam em processo de alteração mais intenso, com aspecto mais deteriorado, podendo ser relacionado à maior fissuração dos rejuntas nos encontros de planos diferenciados, e conseqüentemente a uma maior infiltração e umidade na área;
- a oxidação dos grampos foi geral em todas as placas que ruíram (todas as fachadas); entretanto nas fachadas Leste e Sul, abaixo das aberturas, as manchas causadas por oxidação dos grampos atingiram maior área na superfície das placas, sendo perceptíveis na fachada. Novamente o problema com a umidade excessiva;
- o deslocamento espontâneo foi mais intenso na área de borda superior da fachada Oeste; entretanto, com a retirada dos rejuntas, houve em todas as fachadas em áreas diversas. Na fachada Oeste aconteceu sempre em áreas vizinhas às juntas de dilatação. A perda de aderência nesses limites deve-se provavelmente à aplicação das juntas depois da fachada executada. Isto provocou um distensionamento nas placas, as quais permaneceram no lugar devido à forte ligação com o rejunte. Nas demais fachadas, especialmente na Norte e na Sul, o deslocamento foi mais intenso onde existiam grandes superfícies sem aberturas. Neste caso, há uma grande tensão no revestimento e

a retirada do rejunte provocou a estabilização das placas e a perda de aderência ao substrato.

Na Figura 4.43 são enumerados os elementos que influenciaram na falência do revestimento, indicando as interfaces entre projeto (detalhes construtivos), execução e material. Sobre o produto final, a fachada construída, entra o quarto fator: a manutenção.

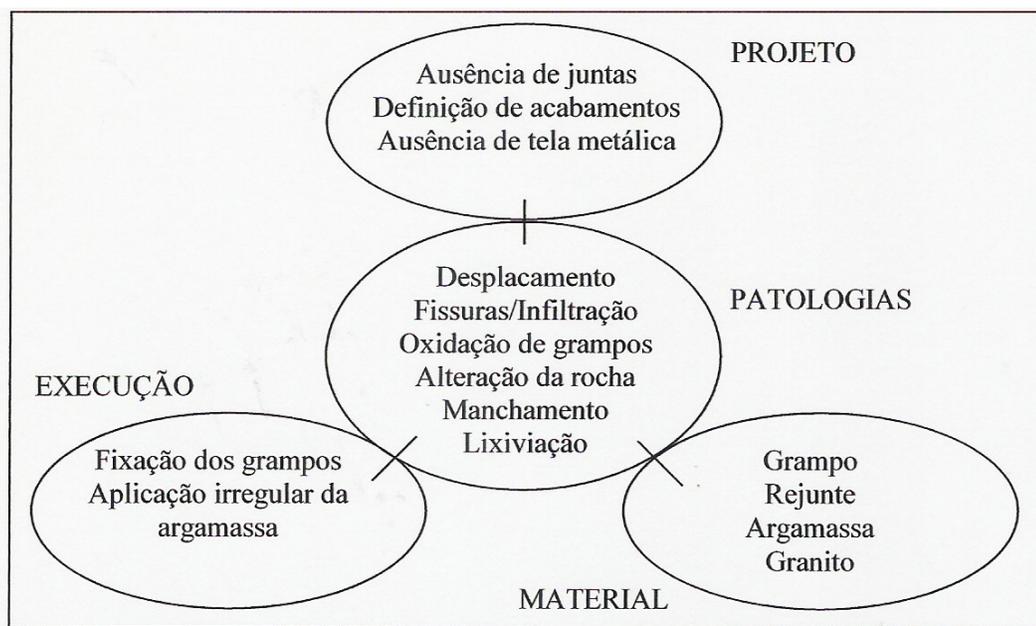


Figura n. 4.43: Conjunto de fatores desencadeadores das patologias da obra.

#### 4.5 Conduta recomendada

Podem-se enumerar duas posturas perante o problema. A primeira seria drástica e cara. A segunda seria um tratamento paliativo, porém menos oneroso.

Diante da situação encontrada, placas de rochas alteradas, com perda de massa e nos aspectos estéticos, e de fachada com ocorrência de deslocamento e infiltração (método de fixação e vedação necessitando de revisão), o primeiro procedimento é bastante radical:

remover todo o granito ‘cinza andorinha’ existente na fachada e adotar um novo revestimento, com detalhamento da paginação e de acabamentos como chapins e respingadores.

Este tipo de solução demandaria tempo (projeto e execução), provocaria transtornos aos moradores (demolição e construção), além de ter um alto custo. E, embora a fachada ganhasse esteticamente, ainda assim outros problemas poderiam surgir com a adequação de um novo material: mais peso à estrutura; fissuras entre construção nova e antiga; entre outros.

Uma opção mais barata e menos agressiva pode ser adotada. Primeiro seriam feitas a remoção das placas soltas e a limpeza da fachada. Em um segundo momento se faria a reposição de placas com substituição daquelas que apresentassem maiores problemas (fissuras, processo de oxidação de grampos com manchas visíveis). Posteriormente, seriam executadas a colocação de juntas de dilatação nos planos ‘cegos’ das fachadas Norte e Sul e a aplicação de chapins e respingadores nas aberturas e nas caixas de ar condicionado. Por fim, deveria ser feito novo rejuntamento. Não adiantaria impermeabilizar as placas de rocha com algum produto superficial, pois os sais que já se encontram no interior podem cristalizar e desagregar essa película de proteção.

Esse procedimento promoveria estanqueidade à fachada; entretanto, as placas em processo de alteração continuariam se degradando até se estabilizarem. Por outro lado, a presença de água (até sob forma de vapor) pode também aumentar a oxidação/expansão dos grampos de sustentação, aumentando a chance de fissuras, novas manchas e até perda da segurança das placas. A fachada que já se encontra comprometida pode ter a aparência ainda mais modificada.

## 5 ENSAIOS

A alteração das placas de granito usadas na fachada do caso em estudo comprometeu esteticamente a edificação, além de, em conjunto com as outras patologias, por em risco a segurança tanto da edificação, pois deixou de cumprir sua função de proteção, quanto dos usuários, por perda da integridade da fachada. Por conta do desempenho pouco satisfatório do granito ‘cinza andorinha’, diante das condições impostas, foram feitas análises para a constatação do real estado da rocha.

Para avaliação da alteração da rocha foram executados ensaios por métodos não destrutivos e por método destrutivo. A possibilidade da realização de ensaio destrutivo deve-se ao deslocamento ocorrido quando houve a retirada do rejunte.

Os ensaios por métodos não destrutivos foram executados “in loco” através da inspeção do material existente aplicado na fachada, exposto às intempéries, à névoa salina e à atmosfera contaminada por gás carbônico. Foram feitos exames macroscópicos e análise fotográfica, usando os métodos comparativos como parâmetros da alterabilidade, onde há a comparação das deteriorações ocorridas entre as placas mais novas e as expostas há mais tempo.

Já o ensaio com método destrutivo foi feito por meio da análise petrográfica por microscopia, para constatação da composição mineralógica das partes mais íntegras e das partes onde houve maior alteração do material.

Os ensaios destrutivos regidos pela ABNT não puderam ser executados com este material devido às dimensões exigidas pelas NBRs para análise dos corpos-de-prova, as quais não são compatíveis com o volume do material existente (placas de 200x400x10 mm).

A avaliação dos resultados foi feita por exames de superfície, através da cor, do aspecto da superfície, dos danos ocorridos, da fissuração e grãos desprendidos, e da análise da composição mineralógica.

### **5.1 Ensaio não destrutivo**

Segundo os exames não destrutivos realizados na vistoria, em acordo com o método proposto por Lichtenstein (1986) para procedimentos de análise de edificações com patologias, foram observadas, a olho nu, algumas diferenças entre as placas de rocha.

Essas alterações dizem respeito às tonalidades diferentes do material (inclusive numa mesma placa), às diferenças de textura da superfície (desagregação dos grãos), à presença de fissuração de placas com deposição de material carbonático, à contaminação por oxidação dos grampos e de oxidação dos minerais. Toda constatação da análise visual foi fotografada e descrita neste Capítulo 5.

Na Figura 5.01, observa-se, na face frontal da placa de rocha, a presença de duas tonalidades básicas: a mais clara (Mancha 2) está localizada em torno da borda da placa; a escura encontra-se no centro (Mancha 1). O tardo das placas também apresenta contornos demarcados por nuances diferenciadas: há uma borda externa clara (Mancha 3), seguida por uma mais escura (Mancha 4), delimitando a parte central mais clara (Mancha 5).

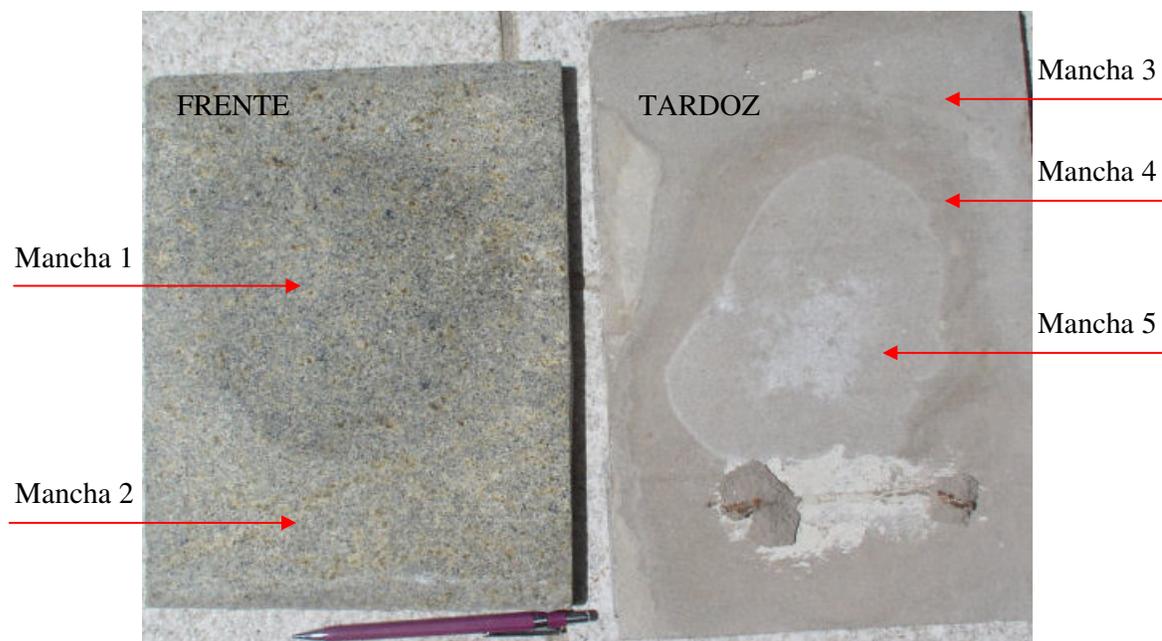


Figura n. 5.01 - Placas manchadas frente-e-verso.

Em um primeiro momento, na vistoria, quando as placas ainda permaneciam aplicadas na fachada, levantou-se a hipótese das manchas escuras serem decorrentes da infiltração da água pelo tardez das placas. Entretanto, quando examinadas (ver Figura 5.02), as placas permaneciam íntegras (com o polimento inalterado) nas áreas do centro (C), enquanto que as bordas apresentavam a superfície desagregada, com perda de massa (B) e, conseqüentemente, do polimento (C).

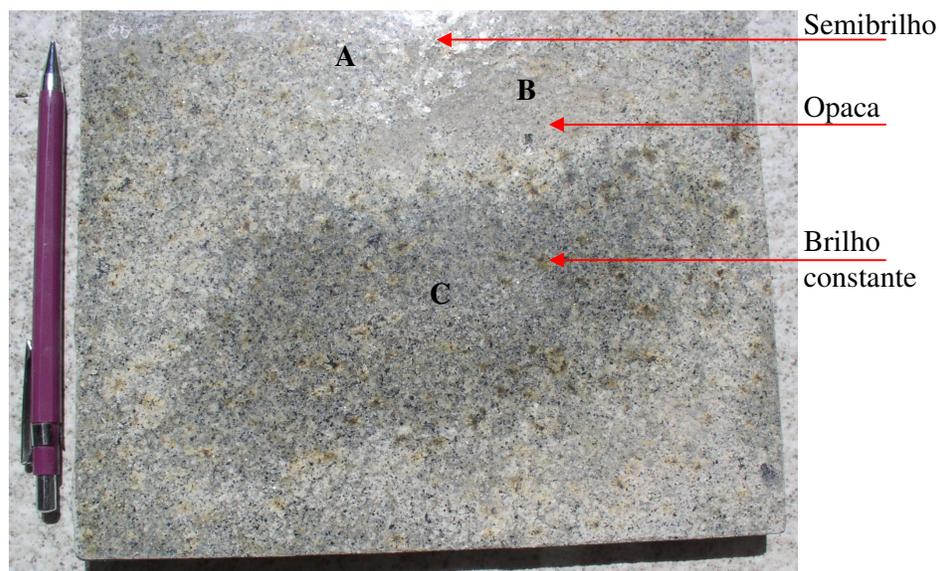


Figura n. 5.02 - Desagregação dos minerais na superfície da placa.

A mancha central no tardo do da Figura 5.01 (Mancha 5) era a área onde a argamassa permanecia aplicada, e equivale em dimensão e localização à parte escura da face externa (Mancha 1), área onde a integridade da rocha foi mantida (Figura 5.02 - C). Já as Manchas 3 e 4 do tardo do são de diferentes camadas de argamassa, as quais foram sendo decompostas, e são equivalentes a Mancha 2 da superfície, parte da rocha em processo de alteração (A e B).

Essa perda de massa na superfície externa do granito é fenômeno da alteração física, e pode ser causada por fatores diversos, como foi visto no Capítulo 3. No caso estudado a hipótese provável para esse tipo de alteração é a cristalização de sais nos vazios existentes entre os minerais, exacerbada pela insolação.

A água armazenada sob as placas de rocha, quando aquecida pela forte insolação, sofreu aumento de pressão e, por capilaridade, foi levada até a face externa, carreando sais, provavelmente da dissolução da argamassa e rejunte. Estes sais foram depositados entre os minerais da rocha, cristalizando-se em alguns pontos. Na face externa esta cristalização gerou a desagregação dos minerais circundantes, diminuindo assim o polimento da rocha.

A oxidação de grampos foi responsável pela fissuração de algumas placas através da tensão provocada pela expansão. Essas fissuras permitiram a passagem do material lixiviado pela água infiltrada (ver Figura n. 4.18). A alteração química teve influência mais intensa nas placas de granito, pois foi observada a contaminação dos minerais das áreas circunvizinhas aos grampos por material oxidado, originando manchas amarronzadas que denigrem a aparência da rocha.

Foi observada também a diferença de coloração entre placas: placas mais acinzentadas e placas já amareladas. Este fato decorre da alteração química dos minerais diante da estabilização às condições ambientais, uma vez que o granito ‘cinza andorinha’, assim que é extraído, apresenta nuances de cores entre o cinza claro e o escuro. Os pigmentos marrom-avermelhados da placa exposta na Figura 5.03 são produto da oxidação de minerais componentes do granito, e retratam bem esta alteração.



Figura n. 5.03 - Minerais alterados por oxidação.

## 5.2 Ensaios destrutivos

Os ensaios destrutivos foram realizados através da análise petrográfica de lâminas extraídas das placas de rocha aplicadas na fachada. Como parâmetros de composição foram usados os dados propostos para o granito ‘cinza andorinha’ pela ABIROCHAS no Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil (2006).

A ABIROCHAS (2006) determina a classificação petrográfica deste granito como Biotita monzo granito. Tem origem no estado do Espírito Santo e apresenta de maneira geral

na composição 4% de Titanita, 20% de Quartzo, 20% de Biotita, 23% de Plagioclásio, 33% de Microclina micropertítica. É uma rocha granítica de granulação grossa.

A análise petrográfica mostra em detalhe não só a composição da rocha, mas também ratifica o que havia sido constatado no item 5.1 ‘Ensaio não destrutivo’.

A Figura 5.04 é de uma lâmina vista sob nicóis cruzados. Observa-se a presença do Quartzo (Qz), da Microclina (M) e do Plagioclásio (P). Já a Figura 5.05 mostra a mesma lâmina sob nicóis paralelos; então se observa a presença da Biotita (B) e da Titanita (Ti). A análise dos elementos de composição confirma, segundo o padrão proposto pela ABIROCHAS (2006), o tipo de granito estudado.

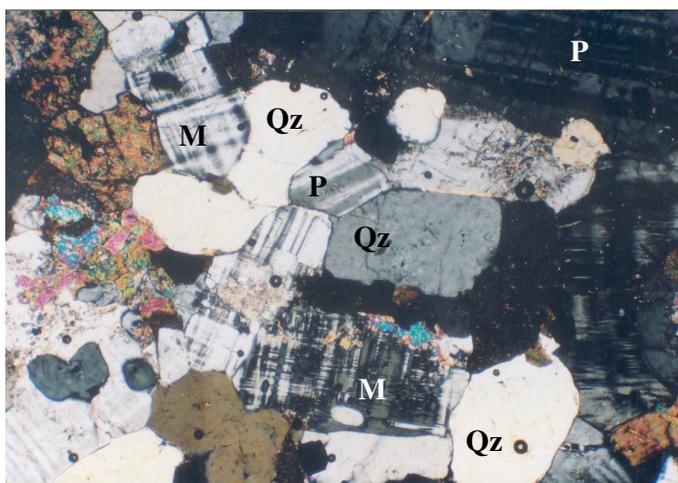


Figura n. 5.04 – Composição da rocha. Nicóis cruzados.  
Ampliação 4x.

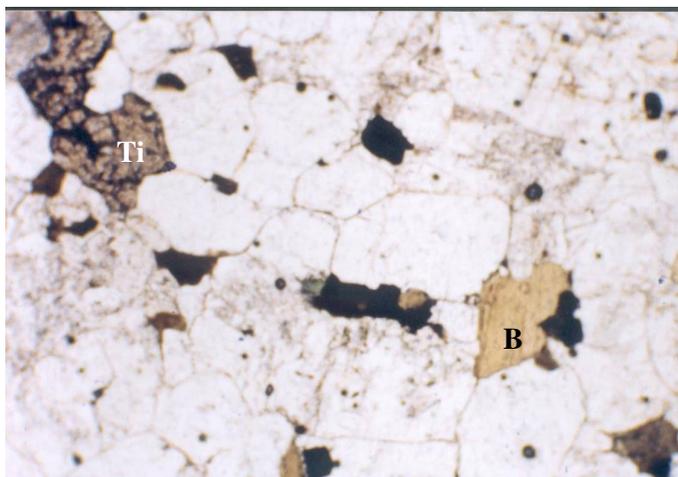
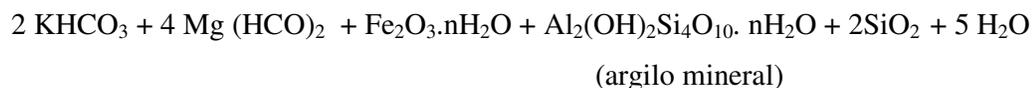
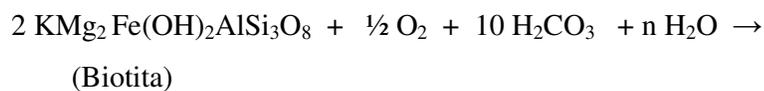


Figura n. 5.05 – Composição da rocha. Nicóis paralelos.  
Ampliação 4x.

O mineral oxidado encontrado nas placas de granito da edificação foi a Biotita. A representação da reação é a seguinte:



A oxidação da Biotita (B) encontra-se em estágios diferentes, a depender da posição na placa de rocha (face externa, faces laterais, tardo, núcleo da placa). Pode ser evidenciada pelo ataque às bordas de cristais (limites pouco definidos), e pelas cores de interferência. (Ver Figuras 5.06)

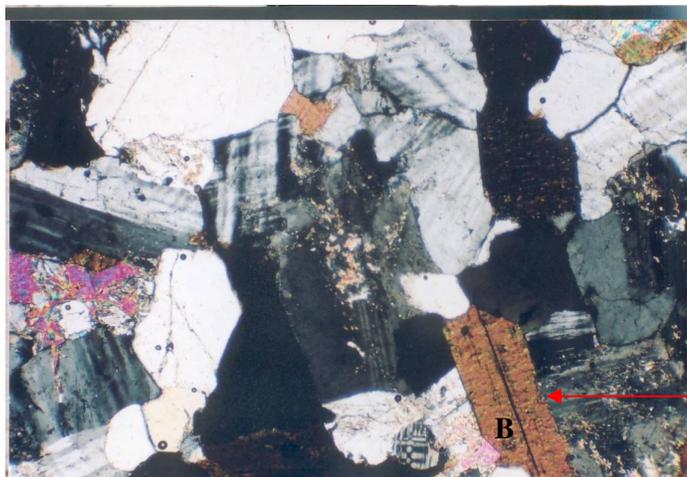


Figura n. 5.06 – Alteração da biotita. Nicóis cruzados.  
Ampliação 4x.

Na Figura 5.07 (nicóis paralelos) observa-se também que o ferro liberado se deposita entre os grãos e nas fraturas dos diversos minerais, delimitando as interfaces.

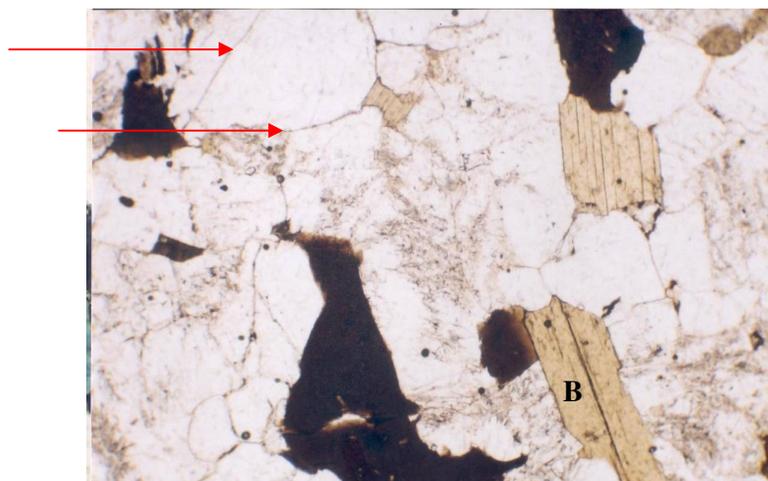


Figura n. 5.07 – Alteração da biotita. Nicóis paralelos.  
Ampliação 4x.

Na Figura 5.08 constata-se a deposição de Carbonatos (C) - sais, desta feita em uma das bordas e no interior de um cristal de Plagioclásio (P).

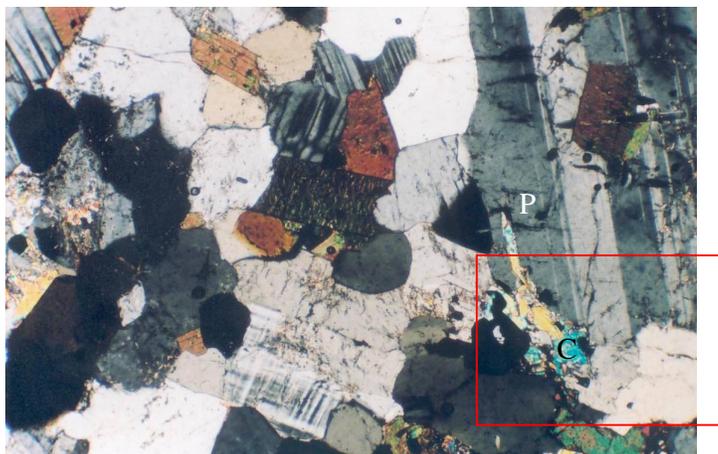


Figura n. 5.08 – Plagioclásio + Carbonato. Nicóis cruzados.  
Ampliação 4x.

A Figura 5.09 mostra uma ampliação da área com Carbonatos (C). Este processo de cristalização de sais, assim como a alta insolação, devem ter sido os responsáveis pela alteração física ocasionando a descamação da rocha.

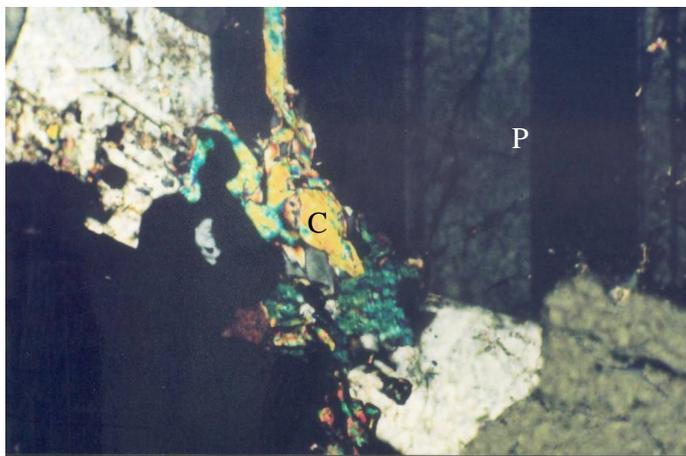


Figura n. 5.09 – Plagioclásio + Carbonato. Nicóis cruzados.  
Ampliação 10x.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação das patologias da fachada dessa edificação, que ocasionaram a alteração no granito, pode ser dividida sob duas óticas: o uso de revestimentos em placas de rocha granítica em fachadas, incorporando a esse item a importância do método construtivo e de todo o processo de especificação, de detalhamento, de execução e de manutenção; e o comportamento do material existente, granito ‘cinza andorinha’, diante do meio exposto.

### 6.1 Revestimentos de placas de rocha granítica em fachada

O granito, como material de construção, está sujeito a alterações por conta da constante busca da rocha por estabilidade diante de um ambiente diferente do da sua formação. O uso em revestimento sob forma de placas ainda o faz mais vulnerável devido à exposição direta ao meio e às dimensões utilizadas nos ladrilhos. Por isso, qualquer variável modificada no contexto da obra pode significar perdas no desempenho e alteração do granito.

No uso, sob forma de revestimentos, esses condicionantes podem ser subdivididos, através das etapas de composição do recobrimento da fachada em: especificação de materiais, método construtivo, projeto/detalhamento, execução e manutenção.

Diante dessas observações, em se tratando de alteração ocorrida em rochas aplicadas como revestimento, é possível acrescentar à Equação 01 de Jenny (apud Birkeland, 1974) sobre o processo de intemperismo, mencionado na página 56, duas variáveis, além de dar ao relevo e ao clima outros enfoques. Segue a nova equação:

$$A = f(cl, o, r, p, t, dp, e, \dots) \quad (02)$$

Onde  $A$  significa alteração;  $cl$ , a relação clima/microclima;  $o$  são os fatores biológicos;  $r$  é o relevo;  $p$  denota o material de origem;  $t$  é o tempo;  $dp$  constitui o detalhamento de projeto de aplicação;  $e$  é a execução; e as reticências representam fatores não especificados como, por exemplo, os relativos à exploração, transporte, armazenamento e manutenção.

O clima assume um novo contexto, pois além do macroclima da região, há de se levar em consideração o microclima do lugar onde está aplicado o material. Por exemplo, se estiver em uma área de muito vento ou de pressão negativa; se estiver em uma área úmida (sob um dreno de ar condicionado) ou de sombra, protegido sob uma marquise.

Quanto ao relevo, deve-se fazer uma outra leitura. A localização topográfica pode ser estudada como a situação de aplicação: de topo (paralelo ao solo); perpendicularmente; ou ainda sob algum ângulo.

O detalhamento de projeto tem influência clara na durabilidade de uma rocha, pois sob certos usos, esforços e localizações o material pode ter o processo de alteração acelerado. Igualmente ocorre com a execução: mesmo com todos os outros fatores controlados, a aplicação mal executada pode acelerar a degradação da rocha.

As variáveis relativas à extração, ao transporte e ao armazenamento têm influência sob a formação de microfissuras (tensões atribuídas) e sob a forma de alterações químicas (contaminação; contato com a água).

Já a manutenção pode atuar no processo de alteração de duas maneiras: a primeira quando não há conservação dos materiais envolvidos, principalmente dos de vedação (juntas e rejuntas); a segunda se refere ao uso incorreto de materiais de limpeza.

Sob esses aspectos serão feitas algumas considerações, visando o uso racional do material.

### **6.1.1 Método construtivo**

O método construtivo utilizado tem importância fundamental no bom funcionamento da fachada e na durabilidade do material. Entretanto, escolher um método construtivo não significa eleger a maneira de aplicação do revestimento. É preciso avaliar toda a conjuntura envolvida para decidir pelo melhor método: é imprescindível que os materiais disponíveis respondam satisfatoriamente à escolha; é necessário que haja tempo viável e mão-de-obra ciente da técnica, para que o projeto seja racional e contemple soluções para a maior parte das situações de risco potencial; é indispensável uma execução fiel ao método, com acompanhamento por um técnico; e, por fim, é fundamental a manutenção do sistema.

Geralmente o método construtivo é determinado através de três fatores: atendimento às solicitações, facilidade de execução e economia. O produto tem que desempenhar bem o papel ao está sendo selecionado. Uma execução mais acessível permite o uso de mão de obra menos qualificada, logo, menos dispendiosa. A economia é fundamental para a saúde financeira da construtora e é resultado dos outros fatores: uma tecnologia simples que resolva a técnica de aplicação, em um curto espaço de tempo, com trabalhadores mais econômicos.

Todavia à economia devem ser contabilizados também os custos indiretos, e não só àqueles relativos aos gastos imediatos como: material mais barato; técnica mais difundida. Existem conceitos como credibilidade e satisfação dos clientes que são construídos ao longo do tempo, mas que podem ser facilmente perdidos em decorrência de um trabalho mal executado.

Na época do projeto e construção do caso estudado não havia ainda parâmetros normativos para a aplicação de rochas ornamentais em fachada. Entretanto, no Brasil, já havia o conhecimento e uso de diversas técnicas, como por exemplo com dispositivos metálicos para fixação de placas, empregados desde meados dos anos 80 na Região Sudeste. No entanto, a escolha pelo método aderente de placas deve ter sido priorizada na época por ser um método convencional do sistema construtivo de Pernambuco, pela facilidade de compra e manuseio dos materiais e devido ao custo final. A falta de mão-de-obra qualificada no Recife inviabilizava o uso dos dispositivos como fixação de placas de rocha em fachada.

O resultado desse tipo de aplicação das placas de rocha em conjunção com os outros fatores (projeto, materiais, execução e manutenção) denegriu a imagem da edificação e pôs em risco a sua integridade física e dos seus usuários.

Devido a estudos e trabalhos consultados, a Associação Brasileira de Normas técnicas formulou normas para a aplicação de rochas ornamentais em fachadas e desde 1996 a técnica para fixação das placas de granito usada no caso em estudo, ancoragem química com auxílio de grampos, já tem método delimitado pela NBR 13707 (1996). Pelas recomendações desta norma, para alturas entre 3 metros e 15 metros, é indicado o uso de grampos fixados em telas,

preferencialmente eletrossoldadas, ancoradas convenientemente ao suporte. A partir desta altura a fixação deve ser feita por meio de dispositivos metálicos (insertos).

Fica evidente a importância do método construtivo, quando bem executado, na durabilidade de uma obra, pois patologias podem ser minimizadas através de uma especificação e do controle adequado. O método de ancoragem química, com auxílio de grampos, é um sistema que deve ser explorado, até por ser menos oneroso, entretanto cabe ao projetista seguir os procedimentos para evitar danos.

O melhor método construtivo é aquele que permite o uso pleno do material, da maneira mais eficaz, aliando uma execução precisa e o custo reduzido com a manutenção da obra.

### **6.1.2 Especificação de materiais**

A especificação de materiais é, em geral, tratada como a última etapa de projeto como resultado entre material disponível e orçamento livre para a fase. Na realidade, deveria ser a primeira a ser determinada: é sua definição que irá decidir a escolha do método construtivo; será também o norteador do projeto/detalhamento de uma fachada (repercutirá na estrutura da edificação); e indicará as medidas de manutenção necessárias diante do meio em que será exposto.

A escolha do material envolve além do aspecto estético, as especificações técnicas do material, ambas importantes para revestimento. É indispensável solicitar do fabricante ou

fornecedor o seu manual de uso, com o comportamento médio diante das tensões, umidade, insolação (propriedades) e com procedimentos de aplicação e manutenção.

Entretanto, não se pode definir o uso do material apenas através de padrões médios de desempenho, porque mesmo com respaldo técnico o material pode não reagir de maneira satisfatória se as condições do meio forem desfavoráveis. O ‘cinza andorinha’, granito do caso estudado, tem seu comportamento dentro da faixa de uso determinada pela DIN (Ver tabela n. 03) e mesmo assim sofreu grande alteração em um período de tempo relativamente curto, diante de um meio agressivo (grande umidade, altas temperatura e muita insolação).

O granito, assim como outros materiais, se altera mais rapidamente em ambientes quentes e úmidos. Fatores intrínsecos como granulometria e composição mineralógica podem fazê-lo mais ou menos vulnerável. Todavia, não significa dizer que sua utilização em ambientes externos é inadequada: cuidados extras devem ser observados para prevenir umidade excessiva, contaminação dos minerais da rocha, microfissuras, visto que as condições ambientais a que serão submetidos poderão reduzir drasticamente a sua vida útil. Uma placa de rocha pode durar ‘X’ anos numa área protegida, porém pode se deteriorar em um décimo desse tempo em uma situação adversa.

Também se deve observar a qualidade e o desempenho para especificação dos materiais de fixação como grampos, argamassas e rejuntas. Materiais que não respondem as necessidades do ambiente comprometem a estabilidade como o que aconteceu com os grampos oxidados, os rejuntas fissurados e a argamassa lixiviada.

A periodicidade e o nível dos procedimentos profiláticos de uma fachada também devem ser analisados quando da escolha do revestimento, uma vez que, além de causarem transtorno à vida dos usuários, geram gastos extras. Devido à dificuldade de acessibilidade para manutenção, os revestimentos de fachada devem requerer uma conservação mais simples, especialmente nas edificações com morfologia mais complexa.

Portanto, a especificação adequada não é só a escolha de um material belo e tecnicamente eficiente, e sim a de um material que atenda a esses pré-requisitos e que resista satisfatoriamente ao uso solicitado e ao ambiente de exposição.

### **6.1.3 Projeto**

Freqüentemente é destinado pouco tempo à fase de projeto. O material é levado ao canteiro de obras, onde, a partir das necessidades são feitos os arremates, ou ‘as built’ denominação usada pelo meio técnico. Todavia, não deveria ser assim.

Esta fase deve ser o período onde todas as interfaces do projeto são analisadas e compatibilizadas, pois nela é muito mais barato se alterar uma parede ou se criar um detalhe construtivo que agregue melhor desempenho. O tempo ‘perdido’ em um projeto é revertido em rapidez na execução e conseqüentemente em economia.

Um outro aspecto importante é o detalhe construtivo. A presença/ausência dele pode significar o bom funcionamento ou a degradação de uma superfície. O detalhamento de um projeto é a forma documentada de assegurar sua execução da maneira precisa, e por isso deve ser bem estudado e explicado.

Alguns detalhes construtivos poderiam ter minimizado ou até prevenido certas patologias na edificação estudada. A paginação da fachada não é uma simples definição de dimensões de placas, nem unicamente a disposição cromática e textural do granito; requer um estudo de tensões segundo a morfologia da superfície (se tem aberturas ou são planos cegos), para um planejamento de juntas de dilatação (escoamento de tensões); necessita de um projeto de drenagem de superfícies, para que a água seja defletida para fora do plano da fachada e não aconteçam pontos com alta umidade, fonte de alteração; precisa de definição exata dos pontos de fixação das placas, para que sejam previstos os esforços no projeto de estrutura e as ancoragens na execução.

Não existe ‘modelo’ de detalhe construtivo a ser repetido. Cabe a cada projetista adotar a morfologia compatível de acordo com seu partido arquitetônico e com as condições do meio. É necessário e imprescindível, entretanto, ter conhecimento dos aspectos técnicos, para que os detalhamentos de caixas de ar condicionado, de chapins e parapeitos não terminem prejudicando mais a higidez da fachada.

Destarte, o projeto merece atenção e tempo de amadurecimento para que haja uma compatibilização eficaz de projetos complementares eficaz e um detalhamento eficiente antes da execução da obra.

#### **6.1.4 Execução**

O desconhecimento da técnica e dos procedimentos gera erros, às vezes elementares, mas que podem por em risco a integridade de uma construção. Um dos grandes problemas existentes na execução de obras é o uso de mão-de-obra não qualificada.

A confecção da argamassa segue receitas determinadas: ou pela construtora, ou pelo fabricante do material. Não cabe ao funcionário decidir pela adição de água desconhecendo o índice a ser alcançado. A aplicação da argamassa em camadas irregulares pode provocar sobrecarga e não maior fixação; ignorar a atuação dos efeitos climáticos sobre pontes-de-aderência leva à aplicação de material sob alta insolação e vento. Provavelmente foram fatores como estes que abriram espaço para patologias como a infiltração de água e o deslocamento das placas do granito do caso estudado, situações que poderiam ser resolvidas através do conhecimento do trabalho a ser desenvolvido.

Daí a relevância dos diversos cursos profissionalizantes e de reciclagem para a difusão do método. E se a técnica não for dominada por todos, cabe ao supervisor subdividir as funções conforme a informação de cada empregado, inspecionar o que foi feito e cobrar resultados. Portanto, um funcionário qualificado é imprescindível.

A importância do processo de execução está em entender o projeto, discutir o detalhamento, para assim se chegar à implementação na obra, sabendo a influência de cada fator sobre o produto final, seja ele um detalhe construtivo, a quantidade de água em uma argamassa ou o nível de insolação sobre uma superfície.

### **6.1.5 Manutenção**

A responsabilidade com a edificação não acaba com a conclusão de sua execução. A construtora tem um compromisso com a obra de cinco anos, mas sua vida útil deve ser

estimada em cinquenta anos, com manutenção regular. Por isso, algumas medidas têm que ser tomadas em prol deste desempenho.

Em primeiro lugar, a conjunção material/projeto/método/execução deve ser bem articulada para que a fachada responda às necessidades do meio. Deve-se também informar ao cliente sobre o comportamento do material, discriminando as ações profiláticas recomendadas em um manual de uso. Só assim problemas como a falta de intervenções ou intervenções de maneira irregular, poderão ser diminuídos.

Na edificação estudada, vistorias periódicas na fachada poderiam ter minimizado a deterioração. Procedimentos como troca de rejuntas, reposição de juntas de dilatação e limpeza das placas diminuiriam as infiltrações e possibilitariam um diagnóstico mais rápido da situação do revestimento, prevenindo o deslocamento ocorrido, a formação de microorganismos e o grande número de placas alteradas.

Devem ser previstos ainda em projeto expedientes que serão usados nas vistorias de manutenção, como ancoragens para balancins e redes de proteção. A vistoria de fachada não pode ser vista como característica da obra, e sim como procedimento necessário para prolongar a vida útil da edificação.

Em uma fachada bem executada, a manutenção deve ser um processo simples, de prevenção e não uma operação corretiva, às vezes com a necessidade de substituição de materiais.

## 6.2 Rocha granítica

É sabido que as rochas tendem a se alterar diante da exposição ao ambiente diferente do da sua formação. Entretanto, a intensidade dessa alteração pode sofrer influência de vários fatores extra climatológicos.

A insolação, a grande umidade e as altas temperaturas, sem dúvida, aceleram o processo de deterioração da rocha, pois criam ambiente propício à proliferação de fungos, à oxidação de minerais, e à cristalização de sais. Porém, situações de uso indevidas anteciparam a alteração dos minerais.

O granito ‘cinza andorinha’ tem propriedades que são aceitáveis para uso como material de revestimento, contudo, a conjunção de fatores criada na edificação reduziu sua vida útil drasticamente.

Em primeiro lugar, dever-se-ia dar uma atenção especial à fixação de placas de granito com espessuras de 10 mm, quando utilizado sob método aderente por argamassa convencional com auxílio de grampos. A pequena espessura da placa permitiu que, em pouco tempo – 10 anos, os carbonatos dissolvidos da argamassa ascendessem por capilaridade até a face externa, depositando-se nas interfaces dos minerais do granito e, quando se cristalizaram, desagregaram os grãos da superfície.

O mineral do granito composto por ferro bivalente, no caso a biotita, sofreu oxidação e posterior argilização, juntamente com os feldspatos. Estes processos foram acentuados nas

áreas sujeitas a maior umidade: onde a infiltração foi mais intensa e nos planos horizontais que acumularam água na superfície.

A execução e a especificação de materiais adequados ao ambiente de exposição também influenciaram na vida útil do granito: o uso de grampos em material oxidável além de contaminar o granito, provocou o fissuramento de algumas placas e a desagregação da argamassa de fixação.

Fica evidente que a importância da especificação técnica do material perde todo o sentido quando não é dado o devido valor ao seu emprego. O granito, como qualquer material de construção, exige especificidades de uso. É um material de conceito atemporal, mas, dependendo das condições impostas ao uso, pode ter uma vida útil bem breve.

### **6.3 Sugestões para trabalhos futuros**

O trabalho desenvolvido teve como base à análise qualitativa de placas do granito ‘cinza andorinha’ aplicadas segundo um método de construção bastante usado na Região Metropolitana de Recife, o aderente com auxílio de grampos. Nesta pesquisa alguns pontos merecem um aprofundamento maior, o que só será possível ao longo tempo.

- Um acompanhamento sistemático da obra estudada e de outras edificações com fachadas revestidas em rochas que apresentem patologias semelhantes talvez permita traçar parâmetros de comportamento e alteração da rocha diante das condições ambientais de Recife e Região Metropolitana (ventos dominantes,

insolação, umidade, temperatura, atmosfera contaminada). Enfim, a relação entre o ambiente construído e a natureza.

- Estudos a serem realizados com o mesmo tipo de granito, aplicado via dispositivo metálico, trarão importantes dados comparativos sobre o comportamento da rocha sob métodos de aplicação diferenciados.
- Caberá, também, a análise do sistema de fixação por meio de dispositivo metálico, uma vez que é normatizado pela ABNT como padrão a partir dos 15 metros de altura. Qual a real influência do método construtivo, da ‘fachada ventilada’ e do rejuntamento na durabilidade do granito de uma maneira geral?
- Já que as rochas, em especial os granitos, são materiais sujeitos às variações do ambiente, existirá algum meio de estabilizá-los ou imunizá-los frente a essas condições?

Muitas outras inquietações surgiram ao longo deste estudo, entretanto estas são as de maior propensão à discussão no meio técnico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. **Catálogo de rochas ornamentais do Brasil/ fornecedores**. Banco de dados. Disponível na Internet. <http://www.abirochas.com.br/br/index.html> . Acesso em 14 de jan. de 2006.

ABIROCHAS. **Rochas ornamentais no século XXI**. Banco de dados. Disponível na Internet. <http://www.abirochas.com.br/br/index.html> . Acesso em 25 de ago. de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5718**: revestimentos. Rio de Janeiro, 1982. 1p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12763**: rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12764**: rochas para revestimento: resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12765**: rochas para revestimento: determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12766**: rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro, 1992. 2p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12767**: rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 1992. 2p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12768**: rochas para revestimento: análise petrográfica. Rio de Janeiro, 1992, 2p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13707**: projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro, 1996. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13708**: execução e inspeção de revestimento de parede e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro, 1996. 4p.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**: Novos materiais para construção civil. 6. ed. São Paulo: LTC, 2003. vol. 1, 447 p.

\_\_\_\_\_. **Materiais de construção**: Novos materiais para construção civil. 6. ed. São Paulo: LTC, 2001. vol.2, p. 447-951.

BIRKELAND, Peter W. **Pedology, weathering and geomorphological research**. New York: Oxford University Press, 1974. 285 p.

COÊLHO, Lavínia; FERREIRA, Maria da Graça; CARVALHO FILHO, Arnaldo. Construction mistakes: a threatening to the environment. How to account for it in a life cycle impact assessment? *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE MANAGEMENT, 2, 2005, Barcelona. **Anais**. Barcelona: , 2005. p.246-249. 1 v.

COSTA, Antônio Gilberto. Rochas ornamentais: procedimentos para o seu conhecimento e sua conservação a partir de estudos do patrimônio construído e de projetos arquitetônicos recentes. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGE Minas/SBG, 2005. p. 244-255.

COSTA, Antônio Gilberto; CALIXTO, Cristina; SILVA, Maria Elizabeth; BECERRA, Javier. Rochas ornamentais e de revestimento: estudos a partir do patrimônio construído e de projetos arquitetônicos recentes. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais sessões técnicas**. Fortaleza: CETEM, 2003. p. 173-179.

COSTA E SILVA, Ângelo Just da. **Deslocamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. 2001. 255 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DICIONÁRIO ELETRÔNICO HOUAISS DA LÍNGUA PORTUGUESA. Banco de dados. Rio de Janeiro: Ed.Objetiva, 2002.

FERREIRA, Luiz Sérgio de Oliveira. Tecnologia para revestimento de fachadas com pedras naturais. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGE Minas/SBG, 2005. p. 301-318.

FIORITO, Antônio J. S. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 221 p.

FLAIN, Eleana Patta. Processos de assentamento de rochas ornamentais. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais cursos**. Recife: CETEM, 2002. 7 p.

FRANGELLA, Jacinto. Usos, adequações e aplicações das rochas ornamentais e de revestimentos. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais cursos**. Fortaleza: CETEM, 2003. p. 12-20.

FRASCÁ, Maria Heloísa Barros de Oliveira. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais cursos**. Recife: CETEM, 2002. 9 p.

\_\_\_\_\_. Rochas para revestimento de edificações: variedades, seleção, usos e durabilidade *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais cursos**. Fortaleza: CETEM, 2003. p. 02-11.

FRASCÁ, Maria Heloísa Barros; SARTORI, Pedro Luiz Pretz. Minerais e Rochas. *In*: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos. BRITO, Sérgio Nertan Alves de (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação brasileira de geologia de engenharia, 1998. p. 15-38.

FRAZÃO, Ely Borges; PARAGUASSU, Antenor Braga. Materiais rochosos para construção. *In*: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos. BRITO, Sérgio Nertan Alves de (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo Associação brasileira de geologia de engenharia, 1998. p. 331-342.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GEHBAUER, Fritz. **Como melhorar processos de produção e de gestão**. Recife: CEFET, 2004. 448 p.

GEHBAUER, Fritz; EGGENSPERGER, Marisa; ALBERTI, Mauro Édson; NEWTON, Sérgio Auriquio. **Planejamento e gestão de obras**: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha. Curitiba: CEFET-PR, 2002. 525 p.

GIAFAROV, Paulo Florio. **Rochas ornamentais:** revestimento de fachadas (parte 1). **Revista Rochas de Qualidade.** São Paulo, n.183, p. 66-70, jul/ago. 2005. bimestral.

GONZÁLES-MESONES, Fernando López. La interpretación de los ensayos de caracterización de la piedra natural, en el marco de la nueva normativa europea. *In:* SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais cursos.** Recife: CETEM, 2002. 7p.

GÖSSEL, Peter; LEUTHÄUSER, Gabriele. **Arquitectura no século XX.** Slovenia: TASCHEN, 2001. 448p.

HENRIQUES, Fernando M. A. **A noção de qualidade em edifícios.** *In:* Comunicação ao Congresso Nacional da Construção. Lisboa, 2001.

INMET. **Climatologia.** Banco de dados. Disponível na Internet. <http://reia.inmet.gov.br/climatologia/mapas3.php>. Acesso em 25 de ago. de 2005.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sérgio Estanislau do. **Geologia geral.** 12. ed. São Paulo: companhia Editora Nacional, 1995. 399 p.

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Patologia das construções.** São Paulo: EPUSP, 1986. 34 p. (Boletim técnico 06/86).

LOTURCO, Bruno. **Revestimento de granito com insertes metálicos.** Revista Técnica. São Paulo, n.106, p. 34-38, jan. 2006. mensal.

MARANHÃO, Flávio Leal. **Patologias em revestimentos aderentes com placas de rocha.** 2002. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MARANHÃO, Flávio Leal; BARROS, Mercia Maria Semensato B. de. Argamassa para assentamento de rochas ornamentais. *In:* SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias.** Recife: PPGE Minas/SBG, 2005. p. 319-324.

MELO, Evenildo Bezerra de; COSTA, Felisbela Maria da. Escolha de tipos texturais de rochas e sua aplicação ornamental. *In:* SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais cursos.** Recife: CETEM, 2002.

MELO, Evenildo Bezerra de; OLIVEIRA, Felisbela Maria da Costa. Pesquisa geológica de detalhe em jazidas de rochas ornamentais. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGE Minas/SBG, 2005. p. 230-243.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 1. ed. Barcelona: Gustavo Gilli, 1998. 203 p.

OLLIER, Cliff. **Weathering**. 2. ed. New York: Longman, 1984. 266 p.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Materiais de Construção**. 11. ed. São Paulo: Globo, 1998. 435 p.

RAINVILLE, César de. **O vinhola brasileiro**: novo manual pratico do engenheiro, architecto, pedreiro, carpinteiro, marceneiro e serralheiro. Rio de Janeiro: Eduardo & Henrique Laemmert, 1880. p. 1-24.

RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**: recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. São Paulo: Pini, 1995. 252 p.

ROLIM FILHO, José. Seleção de argamassas para assentamento de rochas ornamentais para pisos e revestimentos. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 3, 2002, Recife. **Anais cursos**. Recife: CETEM, 2002. 3p.

ROLIM FILHO, José; SOUZA, Júlio César; LIRA, Belarmino Barbosa; BARROS, Márcio Luiz de S. C.; OLIVEIRA, Felisbela Maria da C. Ensaio tecnológicos para aplicação de rochas ornamentais. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGE Minas/SBG, 2005. p. 218-224.

RODRIGUES, Eleno de Paula. Critérios de assentamento das rochas de revestimento nos diferentes ambientes de aplicação: a proposta da "bula" para granitos brasileiros. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. p. 256-262.

RUTLEY, F. **Elementos de mineralogía**. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gilli, 1958. 446 p.

SALES, Fernando Antônio Castelo Branco; MORAIS, Jader Onofre de. Proposta metodológica de pesquisa para rochas ornamentais. *In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 3, 2002, Recife. **Anais sessões técnicas**. Recife: CETEM, 2002. p. 02-12.

SZABÓ, Gergely A. J.; BABINSKI, Marly; TEIXEIRA, Wilson. Rochas Ígneas. *In*: TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, M. Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas Rich; e TAIOLI, Fabio (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: editora, 2000. p. 327-346.

SOUZA, Roberto de; MEKBEKIAN, Geraldo. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. São Paulo: Cte, 1996. 275 p.

THOMAZ, Ércio. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1999. 194 p.

TOLEDO, M. Cristina Motta de; OLIVEIRA, Sonia Maria B. de; MELFI, Adolpho J. Intemperismo e formação do solo. *In*: TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, M. Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas Rich; e TAIOLI, Fabio (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: editora, 2000. p. 139-166.

TORQUATO, Maria de Fátima Bessa; TORQUATO, Joaquim Raul Ferreira. Estudo da alterabilidade de rochas ornamentais através da simulação por ensaios tecnológicos. *In*: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. **Anais mesas plenárias**. Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. p. 204-217.

WILLIAMS, Howel; TURNER, Francis J.; GILBERT, Charles M. **Petrography**: An introduction to the study of rocks in thin sections. San Francisco: Freeman and Company, 1954. 406 p.