Sérgio Trajano Franco Moreiras

**ESTUDO SOBRE O REVESTIMENTO DE FACHADAS DE
EDIFÍCIOS ALTOS COM PLACAS DE GRANITOS
ORNAMENTAIS**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassú

São Carlos

2005

*À meu pai Jorge
Que me ensinou
O significado da palavra
Perserverança*

*À minha mãe Inês
Por me ensinar
O sentimento da palavra
Força*

*E à mim e a meus irmãos
Frutos desse
Amor*

“Quando contemplava o meu pai, iluminado pelo candeeiro, eu sonhava com o céu e com as estrelas, bem longe para lá da nossa rua. Para mim toda a poesia da vida se comprimiu aí, na melancolia e no silêncio do meu pai. Era aqui, que se encontrava a fonte inesgotável dos meus sonhos: o meu pai comparável a vaca imóvel, reservada e calada que dormia em cima do telhado da cabana.”

MARC CHAGALL

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paraguassú pela liberdade permitida durante o trabalho, pelo rumo dado à pesquisa que é o verdadeiro sentido da orientação e por ensinar a transformar idéias em palavras.

Aos participantes deste pequeno grande grupo que se formou (Grupo de tecnologia em rochas ornamentais - G. T. R. O.), que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho: Professor José Eduardo e aos colegas Rogério, Leonardo e Clébio.

Aos professores, funcionários e colegas do departamento de Geotecnia, que através de constantes apoio e discussões contribuíram para o meu aprimoramento pessoal e profissional, em especial ao amigo Guaxi pelo incentivo para a entrada no mestrado.

Do departamento de estruturas desta escola gostaria de agradecer aos amigos Valentim e Pardal, ao professor Max e ao Pedrão pelos ensinamentos fornecidos que proporcionaram o estudo dos aspectos estruturais das placas rocha desenvolvidos neste trabalho.

À Dra. Heloísa Frascá (IPT) pelas constantes conversas e apoio nas questões referentes à normatização sobre rochas ornamentais que foram o ponto de partida desta pesquisa. Ao Dr. Ely Frazão pelo auxílio na criação do tema de pesquisa, pelo apoio e pelas constantes sugestões. Aos demais participantes da comissão de estudos de rocha para revestimento da ABNT.

Ao engenheiro Adauto da Gran Pro Metal – GPM pelos ensinamentos e dados fornecidos e a Granitos Mármore e Metais - GMM na pessoa do engenheiro Fábio pelas obras visitadas.

RESUMO

MOREIRAS, S. T. F. (2005). *Estudo sobre o revestimento de fachadas de edifícios altos com granitos ornamentais*. Dissertação - Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

O Brasil, no mercado mundial, ocupa lugar de destaque na extração e comercialização das rochas ornamentais e de revestimento, demonstrado pela produção mensal de chapas que é da ordem de 4 milhões de m². Dentre suas diversas formas de aplicações na construção civil, observa-se um incremento do uso em revestimentos de fachadas de edifícios, principalmente nos grandes centros urbanos. A forma de fixação das placas nas fachadas dos edifícios é feita com o auxílio de *inserts* metálicos, técnica desenvolvida na Alemanha e nos Estados Unidos. O presente trabalho trata da especificação e normatização das rochas ornamentais e, no caso específico dos revestimentos de fachadas, são apresentados diversos aspectos da seleção das placas de rocha e dos *inserts* metálicos e também o cálculo estrutural de um sistema de revestimento.

Palavras-chave: fachadas, *inserts* metálicos, placa de rocha, revestimentos, rochas ornamentais.

ABSTRACT

MOREIRAS, S. T. F. (2005). *Study on exterior dimension stone cladding systems with ornamental granites*. MSc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

Brazil produces more than 4 million m²/month of dimension stones panels. Façades applications increases in last years. The stone façades cladding is accomplished with the use of metallic anchor, that was developed in German and U.S.A . The present work presents the requirements for selection of the stones and the anchor system, a methodology for the calculation of the stone and the anchor and main aspects of standardization regarding dimension stone.

Keywords: Façades, anchor systems, stone panel, cladding, dimension stone and natural stone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Granitos brasileiros com acabamento polido: (a) Azul Bahia, (b) Azul Fantástico (c) Pink Brasil, (d) Rosa Bahia, (e) Floral Pádua Prata e (f) Amazon Flower.	19
Figura 2 – Granito Azul Bahia	21
Figura 3 – Ensaio de abrasão Capon. (a) Abrasímetro CAP e (b) vista do material removido da corpo-de-prova	22
Figura 4 – (a) abrasímetro disponibilizado pelo Parque de Alta Tecnologia de São Carlos (Parqtec) e (b) detalhe mostrando o disco rotativo tangenciando o corpo-de-prova.	24
Figura 5 – Ensaio de coloração seletiva no granito Ocre Itabira	29
Figura 6 - Distribuição dos valores de massa específica aparente seca de rochas silicáticas brasileiras.	34
Figura 7 – Exemplos de valores de massa específica aparente seca de rochas brasileiras.	34
Figura 8 - Distribuição dos valores de porosidade de rochas silicáticas brasileiras.	35
Figura 9 – Exemplos de valores de porosidade de rochas brasileiras.	35
Figura 10 - Distribuição dos valores de absorção de água rochas silicáticas brasileiras.	36
Figura 11 – Exemplos de valores de absorção de água de rochas brasileiras.	36
Figura 12 - Distribuição dos valores de velocidade de propagação de ondas rochas silicáticas brasileiras.	37
Figura 13 - Distribuição dos valores de coeficiente de dilatação térmica linear de rochas silicáticas brasileiras.	37
Figura 14 – Exemplos de valores de dilatação térmica de rochas brasileiras.	38
Figura 15 - Distribuição dos valores de resistência à compressão de rochas silicáticas brasileiras.	38
Figura 16 – Exemplos de valores de resistência à compressão rochas brasileiras.	39
Figura 17 - Distribuição dos valores de resistência à flexão por 3 pontos de rochas silicáticas brasileiras.	39
Figura 18 – Exemplos de valores de resistência à flexão de rochas brasileiras.	40
Figura 19- Distribuição dos valores de resistência ao impacto de corpo duro de rochas silicáticas brasileiras.	40
Figura 20 - Distribuição dos valores de resistência a abrasão de rochas silicáticas brasileiras.	41
Figura 21 – Exemplos de valores de resistência à abrasão de rochas brasileiras.	41
Figura 22 – Esquema da tela onde se fixam as placas de rocha	44
Figura 23 – (a) Ranhuras realizadas no dorso de placa de rocha ornamental e (b) placa preparada com grampos para ancoragem na tela.	45
Figura 24 – Sistema de revestimento de fachadas com placas de rocha, onde: (a) estrutura da edificação; (b) <i>insert</i> ; (c) placa de rocha e (d) colchão de ar.	45
Figura 25 – Locais de fixação do <i>insert</i> metálico nas placas de rocha, sendo (a) fixação pelas partes superior e inferior e (b) fixação pelas laterais.	46
Figura 26 – Sistemas de fixação por <i>inserts</i> .	46
Figura 27 – (a) Locação do furo na placa (mm), onde “e” é a espessura da placa; (b) dimensões mínimas (mm) no ponto de fixação entre a placa e o <i>insert</i> .	47
Figura 28 – Funções dos dispositivos de fixação das placas de rocha. (a) placas fixadas pela parte inferior/superior e (b) placas fixadas pelas laterais.	50

Figura 29 – Tipos de <i>inserts</i> do sistema alemão: (a) utilizado para o fechamento de painéis e pilares, (b) utilizado principalmente para o revestimento de vigas e (c) para o travamento de placas no topo.	51
Figura 30 – Foto dos furos alongados em sentidos opostos.	51
Figura 31 – Desenho esquemático da junta.	56
Figura 32 – Gráfico das isopleias.	58
Figura 33 – Ações do vento nas placas. (a) Vento de sobre-pressão e (b) vento de sucção	60
Figura 34 – Ações atuantes nas placas devido: (a) ao vento, (b) ao peso próprio e (c) às variações de temperatura.	62
Figura 35 - Estrutura em placa e a principal tensão atuante no sistema	62
Figura 36 – Dimensões da placa tipo (cm)	65
Figura 37 – Execução do furo, onde se aloja o pino do <i>insert</i> . (a) Equipamento que garante a ortogonalidade e paralelismo do furo em relação à placa e (b) detalhe do furo.	67
Figura 38 – Patologias no ponto de fixação entre o <i>insert</i> e a rocha	67
Figura 39 – Esquema das ações atuantes nos <i>inserts</i> .	68
Figura 40 – Esquema do comportamento tensão x deformação dos aços.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Normas do Comitê Europeu de Normatização sobre rochas ornamentais.	10
Tabela 2 – Normas da comissão de estudo CE.02:002.45-002 Rochas para revestimento, comitê CB-02 da ABNT	12
Tabela 3 – Normas ASTM sobre rochas ornamentais para revestimento.	14
Tabela 4 – Normas DIN sobre rochas naturais.	16
Tabela 5- Normas BSI sobre rochas para revestimento.	16
Tabela 6 – Principais acabamentos disponíveis para rochas para revestimento.	19
Tabela 7 - Normas ASTM sobre especificação de rochas.	32
Tabela 8 - Especificações das propriedades físicas dos granitos.	33
Tabela 9 – Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego.	42
Tabela 10 - Tolerâncias dimensionais propostas para placas e ladrilhos para revestimentos de paredes e fachadas obtidas por processo de serragem e polimento.	49
Tabela 11 - Dimensões máximas de furos para parafusos.	52
Tabela 12 – Distancias mínimas entre o centro do furo padrão e a borda da placa.	52
Tabela 13 – Sumário das principais vantagens e desvantagens dos aços inoxidáveis	53
Tabela 14 - Composição química dos aços inoxidáveis austeníticos.	54
Tabela 15 – Propriedades dos aços inoxidáveis	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 NORMATIZAÇÃO	04
2.1 – Objetivos e benefícios	04
2.2 – Norma	05
2.2.1 – Elaboração das normas	06
2.3 - Instituições normatizadoras	07
2.4 – Rochas Ornamentais e normatização	07
2.4.1 – ISSO (<i>Internacional organization for Standardzation</i>)	08
2.4.2 – CEN (Comitê Europeu de Normatização)	09
2.4.3 – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)	11
2.4.4 – ASTM (<i>American Society for Testing and Materials</i>)	13
2.4.5 – DIN (<i>Deutsches Institut für Normung</i>) – Alemanha	15
2.4.6 – BSI (<i>British Standard Institut</i>)	16
2.4.7 – Outras Instituições	17
3 ROCHAS ORNAMENTAIS	18
3.1 – Caracterização Tecnológica	20
3.1.1 – Análise Petrográfica	20
3.1.2 – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água	22
3.1.3 – Resistência ao desgaste	22
3.1.4 - Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear	24
3.1.5 Resistência ao impacto	25
3.1.6 - Resistência à compressão uniaxial	26
3.1.7 - Determinação da resistência à tração	26
3.1.8 – Ensaio de congelamento e degelo conjugado à resistência à compressão	28
3.1.9 – Microdureza Knoop	29
3.1.10 - Módulo de deformabilidade estático	29
3.1.11 - Módulo de elasticidade na flexão	30
3.1.12 - Determinação das velocidades de propagação de ondas ultrasônicas	31
3.2 – Requisitos mínimos das rochas silicáticas em revestimentos	32
3.3 – Especificação das rochas silicáticas para revestimento.	42
4 REVESTIMENTO DE FACHADAS COM ROCHAS	44
4.1 - Sistema de fixação por meio de inserts	45
4.2 – Sistema Alemão	47
4.3 – Aspectos para especificação de placas	48
4.4 – Aspectos para especificação dos <i>inserts</i>	50
4.4.1 – Formato	51
4.4.2 - Material	53
4.4.3- Aspectos da resistência à corrosão	54
4.5 – Juntas	55

5 CÁLCULO ESTRUTURAL	57
5.1 - Definição das solicitações	57
5.2 - Quantificação das solicitações	57
5.2.1 - Vento	57
5.2.2 - Peso Próprio	60
5.2.3 - Variação de temperatura	61
5.3 – Ponto de aplicação	61
5.4 - Dimensionamento da placa	62
5.4.1 - Resistência da placa	63
5.4.2 - Cálculo estrutural	63
5.4.3 - Definição dos esforços	64
5.4.4 - Fator de segurança	64
5.4.5 - Exemplo de cálculo	65
5.4.6 – Deformabilidade	66
5.4.7 - Performance no ponto de apoio	67
5.5- Dimensionamento do <i>insert</i>	68
5.5.1 - Resistência	68
5.5.2 – Dimensionamento	69
5.6- Avaliação da performance global da estrutura	70
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Desde os tempos pré-históricos, as rochas têm sido utilizadas para os mais diversos fins. Inicialmente com função estética e ornamental, ao redor de 3000 a.C., pelos mesopotâmios e egípcios e, posteriormente pelos gregos, que difundiram seu emprego por meio da escultura e arquitetura.

Finalmente, os romanos por volta do ano 80 a.C. consolidaram seu uso nas mais audaciosas obras públicas da antigüidade, utilizando-as como elemento estrutural em grandes construções de alvenaria, principalmente por motivos estéticos, inspirando opulência e durabilidade, tornando-se os pioneiros dessa modalidade.

Atualmente, as aplicações das rochas ornamentais são quase que ilimitadas e, segundo Alencar *et al.* (1996), podem ser reunidas em quatro principais grupos: arquitetura e construção; construção e revestimento de elementos urbanos; arte funerária; e arte e decoração.

As rochas ornamentais são aplicadas, principalmente, em pisos e revestimentos. Cerca de 35% da produção mundial de mármore e granito é utilizada na forma de pisos (internos e externos) das construções, 25 % em revestimento de paredes e fachadas, 13 % em arte funerária, 8% em decoração, 7% em trabalhos especiais, 6% em escadarias e similares e 6% em outros casos.

No mercado mundial, o Brasil vem aumentando a sua participação na exportação de produtos acabados, como exemplo, chapas brutas, chapas polidas, placas, ladrilhos e outros.

Esse aumento se dá graças ao aprimoramento tecnológico que vem ocorrendo nos últimos anos tornando o produto nacional competitivo frente aos internacionais, demonstrados pela produção mensal de mais de 4.000.000 m² de chapas. Um dos principais

motivos desse desenvolvimento é a interação ocorrida entre empresas, instituições de pesquisa e universidades.

Em contrapartida, no Brasil as técnicas de aplicação de rochas ornamentais para revestimento não acompanham o desenvolvimento do setor produtivo. Os sistemas de revestimentos com rochas ainda são baseados no empirismo, não existindo uma metodologia para a especificação tanto da rocha, quanto dos materiais utilizados na fixação.

No que diz respeito a revestimento de fachadas de edifícios a situação se torna mais crítica. Nas últimas décadas ocorreram diversos casos de manchas por eflorescências, quedas e deslocamentos devido ao desconhecimento na especificação das argamassas e de erros no procedimento de execução.

Para resolver esses problemas foram introduzidas no país, há cerca de quinze anos, técnicas modernas de assentamento, que utilizam componentes metálicos para a fixação das placas, conhecidos como *inserts*, desenvolvidas nos Estados Unidos e na Alemanha.

Porém essa técnica necessita de um conhecimento do comportamento estrutural da placa de rocha, da realização de um projeto estrutural, da correta especificação do tipo de rocha, do material dos *inserts* e a correta forma de fixá-los. Muitas vezes os consultores negligenciam a natureza das rochas e as propriedades dos aços utilizados nos *inserts*, não levando em consideração a agressividade do meio sobre esses materiais.

Na literatura são encontrados poucos trabalhos que tratam desse sistema de fixação, destacando-se os internacionais de Gonzalez-Mesones *et al.* (2001) sobre uma metodologia de cálculo para a espessura das placas e o de Gil (1995) que determina as ações atuantes no sistema, e o brasileiro de Flain (1995) que trata do sistema de revestimento de fachadas.

Como uma contribuição, o Grupo de Rochas Ornamentais do Departamento de Geotecnia da EESC - USP, desenvolve também estudos sobre o sistema de revestimento de fachadas com *inserts* metálicos.

A intenção deste estudo surgiu com a participação do autor do presente trabalho em reuniões para revisão das normas sobre rochas para revestimento da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), onde se constatou a necessidade de estudos sobre aspectos estruturais e de especificação do sistema de revestimento de fachadas com rochas.

Com a cooperação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT foram identificadas as entidades nacionais e internacionais que atuam na normatização

de rochas para revestimento e seus trabalhos realizados, os quais são apresentados no Capítulo 2.

No Capítulo 3 é feita uma descrição das rochas ornamentais utilizadas como material de revestimento, mostrando seus ensaios de caracterização tecnológica e tratando de diversos aspectos sobre sua especificação.

O sistema de fixação por *inserts* metálicos é apresentado no Capítulo 4 juntamente com uma compilação das normas nacionais e internacionais existentes sobre revestimento de fachadas e de diversos aspectos sobre a especificação dos *inserts* metálicos e da rocha.

O projeto estrutural desse sistema é tratado no Capítulo 5, sendo no Capítulo 6 apresentadas as considerações finais.

CAPÍTULO 2

NORMATIZAÇÃO

Atualmente, segundo definição da *International Organization for Standardization* (ISO) “normatização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com o objetivo de obter maior eficiência em um dado contexto”.

Ela tem origem antiga, surgindo da necessidade do homem em controlar suas atividades. Por volta do ano 1600 a.C., no Egito, estabeleceu-se um processo para produzir blocos de rochas em dimensões padronizadas. Registros dão conta que na Roma Antiga as dimensões eram de 54,2x54,2x4cm e 44,4x44,4x4cm e a principal estrada do Império Romano tinha sua largura fixada em 2,75 metros.

No século XVIII, com a revolução industrial, criaram-se procedimentos para a fabricação de peças as máquinas e para o sistema de código Morse.

Em 1889, nos Estados Unidos, engenheiros reconheceram a necessidade de padronizar o aço utilizado no trilho das ferrovias, sendo esse grupo fundador da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Em 1901 foi fundado, na Grã-Bretanha, o primeiro instituto com o objetivo de produzir normas técnicas, o Comitê de Normas de Engenharia, que em 1919 deu origem ao *British Standard Institute* (BSI).

2.1 - Objetivos e benefícios

Segundo a ABNT os objetivos e benefícios da normatização são os seguintes.

Objetivos:

- Proporcionar a redução da crescente variedade de produtos e procedimentos.
- Proporcionar meios mais eficientes na troca de informação entre o fabricante e o cliente, melhorando a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.
- Proteger a vida humana e a saúde.
- Prover a sociedade de meios eficazes para aferir a qualidade dos produtos.
- Evitar a existência de regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços em diferentes países, facilitando assim o intercâmbio comercial.

Benefícios:

- Utilizar adequadamente os recursos (equipamentos, materiais e mão-de-obra).
- Uniformizar a produção.
- Facilitar o treinamento da mão-de-obra, melhorando o nível técnico.
- Registrar o conhecimento tecnológico.
- Facilitar a contratação ou venda de tecnologia.
- Reduzir o consumo de material.
- Reduzir o desperdício.
- Padronizar componentes.
- Padronizar equipamento.
- Reduzir a variedade de produtos.
- Fornecer procedimentos para cálculos e projetos.
- Aumentar a produtividade
- Melhorar a qualidade.
- Controlar os processos.

2.2 – Norma

É o conjunto de regras, que fixam as condições de execução de uma atividade e/ou a elaboração de um produto. São prescritas por documentos produzidos por associações, constituídas para esse fim, mediante a participação voluntária de representantes de todos os

setores envolvidos com o assunto, dentre eles produtores, consumidores, fornecedores, membros da universidade, do governo e outros.

No Brasil de acordo com o parágrafo VIII do artigo 39 do Código de Defesa do Consumidor, transcrito a seguir, estabelece-se que:

“Fica proibido fornecedor de produtos e serviços de colocar no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela ABNT ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO)”.

2.2.1 - Elaboração das normas

As diversas organizações que exercem a atividade de normatização, tanto nacionais como internacionais, possuem processos semelhantes para a elaboração de normas. A seguir será apresentado o procedimento utilizado pela ABNT:

1. A sociedade manifesta a necessidade de se ter uma norma sobre determinado assunto fazendo uma solicitação junto a ABNT, que encaminha para o Comitê Brasileiro ou Organismo de Normatização Setorial correspondente.
2. Este analisa o tema e inclui, ou não, no seu Programa de Normatização Setorial.
3. Caso seja incluso o tema é criada uma comissão de estudo, com a participação voluntária de diversos segmentos da sociedade, ou esta demanda é incorporada no plano de trabalho da comissão de estudo já existente.
4. A comissão elabora um projeto de norma, com base no consenso de seus participantes.
5. O projeto de norma é submetido à consulta pública.
6. As sugestões obtidas na consulta pública são analisadas pela comissão de estudo e incorporadas ou não no projeto.
7. Finalmente o projeto de norma é aprovado e encaminhado à gerência de processo de normatização da ABNT, para publicação.

2.3 - Instituições normatizadoras

Existem três níveis de instituições normatizadoras em função da amplitude do mercado a que se destinam:

Nível internacional: normas destinadas ao uso internacional, resultantes participação ativa das nações com interesses em comum. São elaboradas por entidades internacionais como a ISO, a *International Electrotechnical Commission* (IEC) e a *International Telecommunications Union* (ITU).

Nível regional: normas de uso regional, elaborado por um limitado grupo de países de um mesmo continente. Nesse destacam-se as seguintes associações: CEN (Comitê Europeu de Normatização), COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas), AMN (Associação Mercosul de Normatização).

Nível Nacional: normas destinadas a uso nacional elaboradas por entidades reconhecidas no respectivo país. Como exemplo citamos a ABNT (Brasil), AFNOR (França), DIN (Alemanha), BSI (Reino Unido), AENOR (Espanha), UNI (Itália) e ASTM (E.U.A.).

2.4 – Rochas Ornamentais e normatização

O levantamento e estudo das normas, nacionais e internacionais, sobre rochas ornamentais realizado neste trabalho, possibilitou um panorama do desenvolvimento da normatização no setor.

Não existem normas específicas para a extração de rochas ornamentais. Entretanto, é necessário estabelecer requisitos para o controle de produção, especificando os ensaios de caracterização e a maneira de realizar a amostragem.

O Comitê Europeu de Normatização, através da norma EN 1467:2003, traz requisitos para a garantia da qualidade do bloco de rocha quanto à existência de defeitos e

tolerâncias dimensionais. Destaca-se também pelos requisitos para chapas brutas, chapas polidas, ladrilhos modulares, ladrilhos, rochas para revestimento de pisos, paredes e fachadas.

Os ensaios que prevêm as características físicas, químicas, mecânicas, petrográficas e de alterabilidade de rochas ornamentais são objeto de estudo da maioria das entidades, sendo o CEN a entidade de maior relevância.

A ASTM também possui diversos ensaios, atualmente em fase de revisão. Esta entidade também se destaca por produzir normas específicas para a caracterização tecnológica de ardósias, especificação para granitos, mármore, ardósias, quartzitos, rochas calcárias e outras rochas.

No Brasil a comissão de estudo CE 02:002.45-002 – Rochas para Revestimento da ABNT está revendo as normas sobre caracterização tecnológica com o objetivo de atualizá-las em relação às normas produzidas pelo CEN.

Na aplicação das rochas como material de revestimento a maior ênfase é dada ao revestimento de fachadas por meio de *inserts* metálicos, sendo abordada por diversos institutos de normatização.

O principal destaque se dá a ASTM que trata da seleção, da especificação, de aspectos de projeto, de ensaios para previsão da performance do sistema, da manutenção, da limpeza e outras. Na Europa a BSI e a DIN possuem procedimentos para projeto e instalação de revestimento em fachadas.

A seguir serão apresentadas as principais entidades que atuam na normatização de rochas ornamentais, suas comissões de estudo, juntamente com os trabalhos publicados.

2.4.1 – ISO (*International Organization for Standardization*)

Instituição que atua em nível mundial, não-governamental, fundada em 1947, por 25 países, com o objetivo de facilitar a coordenação e unificação das normas internacionais.

Sua atuação na área de rochas ornamentais se dá através do comitê técnico ISO TC 196 “Natural Stones”. Ele é composto de três sub-comitês TC 196/WG 1 – Terminologia e classificação; TC 196/WG 2 – Métodos de teste e TC 196/WG 3 – Requisitos.

Porém, para a produção das normas é aguardada a finalização dos trabalhos do CEN, servindo esses como base para os trabalhos de elaboração de normas, juntamente com as normas da ASTM.

2.4.2 - CEN (Comitê Europeu de Normatização)

Foi fundado em 1961 pelos entes nacionais de normatização dos países da Comunidade Econômica Européia, sendo em 1983 reconhecido como organização européia de normatização. Tem o objetivo de unificar, planejar, projetar, harmonizar e adotar normas dentro da comunidade européia, em todas atividades econômicas em que se fizerem necessárias.

É composto de 22 países membros: Áustria, Bélgica, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Noruega, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido.

As principais funções dos membros são descritas a seguir:

- Enviar especialistas nos assuntos em estudo, com o objetivo de formar o Comitê Técnico respectivo.
- Participar da votação das normas e implementá-las nos seus países.
- Fornecer secretarias para os comitês.
- Financiar 50% do custo das atividades, recebendo em troca incentivos do governo, da indústria e lucros da venda das normas.

O comitê técnico que trata das rochas ornamentais é o CEN/TC 246 “Natural Stones” e os seus trabalhos subdivididos em três grupos:

- WG1 – Normas sobre terminologia, classificação e características das rochas ornamentais.
- WG2 – Normas sobre métodos de ensaio.
- WG3 - Normas sobre especificação de produtos.

Para garantir a qualidade de seus produtos o CEN possui diversas normas que fornecem requisitos e especificações para a produção de blocos, chapas brutas, chapas polidas, placas e ladrilhos de rocha.

Existem diversas normas sobre caracterização tecnológica e segundo Frascá (2003) “o CEN mostra-se preocupado em prescrever ensaios de alteração de rochas e determinação de parâmetros físicos que permitem a previsão da degradação da rocha em situações específicas, como por exemplo, resistência à cristalização de sais, ao envelhecimento por choque térmico e outros”.

Não existem procedimentos para a aplicação da rocha como material de revestimento de pisos, paredes e fachadas, porém há normas que fornecem requisitos e métodos de teste para auxiliar na especificação da rocha.

A seguir é mostrada, na Tabela 1, a relação de normas publicadas pelo CEN.

Tabela 1: Normas sobre rochas ornamentais do Comitê Europeu de Normatização.

Número	Título
EM 12057:2004	Produtos de rocha natural – Ladrilhos modulares – Requerimentos
EM 12058:2004	Produtos de rocha natural – Placas para pisos e escadas - Requerimentos
EN 12370:1999	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à cristalização de sais
EN 12371:2001	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência ao congelamento
EM 12372:1999/AC:2002	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à flexão sobre carga concentrada
EN 12407:2000	Método de ensaio para rochas naturais – Análise petrográfica
EN 12440:2000	Rocha natural – Criterios de denominação
EN 12670:2001	Rocha natural - Terminologia
EM 13161:2001/AC:2002	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à flexão sobre momento constante
EN 13364:2001	Método de ensaio para rochas naturais - <i>Determination of the breaking load at dowel hole</i>
EN 13373:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação das características geométricas dos produtos de rocha natural

Número	Título
EM 13755:2001/AC:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da absorção de água sobre pressão atmosférica
EN 13919:2002	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à ação de SO ₂ na presença de umidade.
EN 14066:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência a ação de choque térmico
EN 14146:2004	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico
EN 14147:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à ação de névoa salina
EN 14157:2004	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à abrasão
EN 14158:2004	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da energia de ruptura
EN 14205:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da dureza Knoop
EN 14231:2003	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência ao escorregamento pelo teste do pendulo.
EN 14579:2004	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da velocidade de propagação de ondas
EN 1467:2003	Rocha natural – Bloco de rocha – Requerimentos
EN 1468:2003	Rocha natural – Chapas brutas – Requerimentos
EN 1469:2004	Produtos de rocha natural – Placas para revestimento - Requerimentos
EN 1925:1999	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade
EN 1926:1999	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da resistência à compressão
EN 1936:1999	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação da densidade real e aparente e da porosidade total e aberta
EN 14581:2004	Método de ensaio para rochas naturais – Determinação do coeficiente de expansão térmica linear

Fonte: <http://www.cenorm.be>

2.4.3 – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

A ABNT é uma sociedade civil, sem fins lucrativos, fundada em 1940, considerada de utilidade pública pela Lei 4.150 de 21 de novembro de 1962, e reconhecida como Fórum Nacional de Normatização – UNÍCO – através da resolução do CONMETRO, de 24 de

agosto de 1992. É membro fundador da ISO, da COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas), da AMN e da IEC (*Internacional Eletrotechnical Comission*).

Sua estrutura conta com 54 comitês técnicos, 10.000 técnicos em trabalho permanente e 73 funcionários trabalhando nos escritórios da ABNT, baseados no Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre e Distrito Federal.

Na Tabela 2 estão as normas publicadas pela comissão de estudo de rochas para revestimento.

Tabela 2 – Normas da comissão de estudo de rochas para revestimento da ABNT

Número	Título
NBR 12042:1992	Determinação do desgaste por abrasão.
NBR 12763:1992	Determinação da resistência à flexão.
NBR 12764:1992	Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.
NBR 12765:1992	Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear.
NBR 12766:1992	Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente.
NBR 12767:1992	Determinação da resistência à compressão uniaxial.
NBR 12768:1992	Análise petrográfica.
NBR 12769:1992	Ensaio de congelamento e degelo conjugado à resistência a compressão.
NBR 13707:1996	Projeto de revestimentos de paredes e estruturas com placas de rocha.
NBR 13708:1996	Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha.
NBR 15012:2003	Terminologia

Fonte: <http://www.abnt.org.br>

A participação nas reuniões da comissão de estudos de rochas para revestimento permitiu acompanhar o desenvolvimento dos trabalhos realizados, que foram retomados em 2003. Encontra-se publicada a norma de terminologia, que define os termos da mineralogia, da petrografia, de aspectos geológicos e produtivos das rochas ornamentais e de revestimento.

As normas de caracterização tecnológica estão em fase final de revisão para atualização e introdução de modificações que as tornem mais precisas. As duas normas que tratam sobre o revestimento de fachadas com placas de rocha também estão em fase final de revisão.

Está na fase de projeto a elaboração de um método de ensaio para determinação da resistência à flexão da rocha por quatro pontos (similar da ASTM C880:1998) e outra com requisitos mínimos para especificação de rochas para revestimentos.

No futuro está prevista a elaboração de normas que tratam do revestimento de pisos elevados e convencionais.

2.4.4 - ASTM (American Society for Testing and Materials)

Criada em 1889, a partir da necessidade de produzir normas que garantissem a segurança e funcionalidade dos novos produtos da era industrial. Diferente de como ocorre na maioria dos países, a ASTM não é o órgão centralizador das atividades de normatização, nem representa os Estados Unidos internacionalmente, Estas funções são exercidas pela *American National Standards Institute* (ANSI).

A ASTM é composta por diversos comitês técnicos, sendo o C18 “Dimension Stone” responsável pelas normativas de rochas ornamentais. Ele foi fundado em 1926 e é subdividido em comissões, pelos seguintes assuntos:

- C18.01 – Metodologia de testes.
- C18.03 – Especificações de material.
- C18.06 – Componentes e sistemas de ancoragem.
- C18.07 – Propriedades ambientais, comportamento e limpeza.
- C18.08 – Seleção de rochas ornamentais para uso exterior.
- C18.90 – Executivo.
- C18.91 – Definições e nomenclatura.
- C18.93 – Relações Públicas.

Segundo Frascá (2003) “a ASTM tem publicado, e sistematicamente revisado e atualizado, normas para ensaio, nas quais se baseia a maioria das normas brasileiras voltadas para rochas para revestimento”. Atualmente está em elaboração a norma de análise petrográfica

Também possui diversas normas que tratam sobre o revestimento de fachadas com o uso de *inserts* tratando sobre especificações e seleção dos materiais, ensaios para avaliar a performance do sistema e guias sobre aspectos de projeto, manutenção e limpeza das rochas ornamentais.

A seguir são mostrados na Tabela 3 as normas sobre rochas para revestimento.

Tabela 3 – Normas ASTM sobre rochas ornamentais e de revestimento.

Número	Título
C 97:2002	Norma para método de ensaio para absorção e peso específico de rochas ornamentais
C 99:1987 (2000)	Norma para método de ensaio para módulo de ruptura de rochas ornamentais
C 120:2000	Norma para método de ensaio de flexão para ardósias
C 121:1990(1999)	Norma para método de ensaio para absorção de água de ardósias
C 170:1991(1999)	Norma para método de ensaio para resistência à compressão de rochas ornamentais
C 217:1994(2004)	Norma para método de ensaio para resistência ao intemperismo de ardósia
C 241:1990 (1997)e1	Norma para método de ensaio para resistência a abrasão de rochas submetidas ao tráfego de pedestres
C 880:1998 (1998)	Norma para método de ensaio para resistência à flexão de rochas ornamentais
C 1201:1991(2003)	Norma para método de ensaio para performance estrutural de rochas ornamentais (uso externo)
C 1352:1996(2004)	Norma para método de ensaio para módulo de elasticidade na flexão

Número	Título
C 1353:1998e1	Norma para método de ensaio utilizando abrasão Taber para resistência à abrasão de rochas ornamentais sujeitas ao tráfego de pedestres
C 1354:1996(2004)	Norma para método de ensaio para resistência da rocha ornamental no ponto de ancoragem
C 406:2000	Norma de especificação para ardósias em coberturas
C 503:2003	Norma de especificação de mármore (exterior)
C 568:2003	Norma de especificação de rochas calcárias
C 615:2003	Norma de especificação de granitos
C 616:2003	Norma de especificação de quartizito
C 629:2003	Norma de especificação de ardósias
C 1526:2003	Norma de especificação de serpentitos
C 1527:2003	Norma de especificação de travertinos
C 1242:2004	Guia para seleção, projeto e instalação de rochas em fachadas por meio de <i>inserts</i>
C 1496:2001	Guia para manutenção de rochas ornamentais em fachadas
C 1515:2001	Guia para limpeza de rochas ornamentais de uso externo
C 1528:2002	Guia para seleção de rochas ornamentais para uso exterior

Fonte: [http:// www.astm.org](http://www.astm.org)

2.4.5 - DIN (Deutsches Institut für Normung) – Alemanha

O Instituto Alemão de Normatização foi fundado em 1917, sendo em 1975 reconhecido como ente nacional de normatização. Atualmente possui mais de 26.000 especialistas externos que trabalham como voluntários em mais de 4.000 comitês técnicos.

Existem três normas que tratam de rochas aplicadas em fachadas, apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Normas DIN sobre rochas naturais.

Número	Título
DIN 871-1:1984	Placas; placas de rocha natural; requerimentos e testes.
DIN 18516-3:1999	Revetimentos de fachadas ventiladas, não estruturais de rochas naturais. Projeto e instalação.
DIN 18540:1995	Selantes para juntas em fachadas.

Fonte: [http:// www.beauth.de](http://www.beauth.de)

2.4.6 – BSI (British Standard Institut)

Foi fundado em 1919 a partir do comitê de normas de engenharia fundado em 1901. O comitê que trata da normatização de rochas para revestimento é o B/545. Na Tabela 5 são listadas as normas.

Tabela 5- Normas BSI sobre rochas para revestimento.

Número	Título
BS 5385:1995-Parte 1 e 3	Revestimento de paredes e pisos. Guia para projeto e instalação de rochas ornamentais.
BS 8000-11.2:1990	Guia sobre mão-de-obra para revestimento de paredes e pisos com rochas naturais
BS 8221:2000 Parte 1 e 2	Guia para limpeza de superfície de superfície de edifícios de rochas natural, terracota e concreto
BS 8298:1994	Guia para projeto e instalação de fachadas com rochas ornamentais

Fonte: [http:// bsonline.techindex.co.uk](http://bsonline.techindex.co.uk)

2.4.7 - Outras Instituições

Também se destacam na produção de normas para rochas ornamentais três outras instituições europeias:

- AFNOR (Association Française du Normalisation) - França
- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) – Espanha
- UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) - Itália

CAPÍTULO 3

ROCHAS ORNAMENTAIS

A norma ABNT NBR 15012:2003, em semelhança com a norma ASTM C 119:2003, define rocha ornamental como “material rochoso natural submetido a diversos graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer função estética”.

Do ponto de vista comercial, as rochas são agrupadas em dois tipos, os mármore e os granitos. Os mármore englobam todas as rochas carbonáticas e os granitos abrangem, genericamente, as rochas silicáticas (granitos, serpentinitos, gnaisses, migmatitos, sienitos, charnockitos, gabros, basaltos, dioritos, etc). Alguns outros tipos litológicos inclusos no campo das rochas ornamentais são os arenitos, os quartzitos e as ardósias.

Na escolha de rochas ornamentais o fator estético é muitas vezes decisivo. Ele é resultado da harmonia entre as cores, tamanhos, formas e arranjo entre os minerais. Essas características ficam melhor realçadas pelo acabamento dado a superfície da rocha, principalmente o polido (a Tabela 6 mostra os principais tipos de acabamentos existentes).

Atualmente as “rochas exóticas”, muito em moda, são as mais procuradas, embora de custo elevado (algumas chegando a custar US\$ 600,00 o metro quadrado da placa polida).

O Brasil se destaca como um dos principais produtores mundiais, não apenas em volume, mas também por possuir material com excelente qualidade estética . Isto se deve a excepcional diversidade litológica existente, sendo atualmente comercializados mais de 500 tipos, sendo alguns desses ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Granitos brasileiros com acabamento polido: (a) Azul Bahia, (b) Azul Fantástico (c) Pink Brasil, (d) Rosa Bahia, (e) Floral Pádua Prata e (f) Amazon Flower. Fonte: <http://www.cetem.gov.br/reteqrochas/catalogo>.

Tabela 6 – Principais acabamentos disponíveis para rochas para revestimento.

Acabamento	Características
Polido	Acabamento plano, liso, lustroso e altamente refletivo produzido por abrasão mecânica e polimento.
Levigado	Acabamento plano e não reflexivo, produzido por abrasão mecânica em diferentes graus
Flameado (ou térmico)	Acabamento realizado por uma rápida exposição do material a uma chama em alta temperatura (maçarico), resultando na esfoliação da superfície da rocha, tornando-a rugosa.
Jato de areia (ou jateamento)	Acabamento produzido por um jato de partículas altamente abrasivas em alta velocidade. Seu resultado é uma superfície finamente rugosa que, em geral, deixa a superfície um pouco mais clara do que sem acabamento.
Apicoado	Acabamento conseguido por meio de um martelo pneumático com cabeça em martelo, com numerosas pontas. O resultado é uma superfície rugosa, com relevo de até vários milímetros. A direção de aplicação do acabamento pode ou não ser observável.
Quebra (<i>Split</i> ou <i>Splitface</i>)	Refere-se a superfície de quebra natural que se dá quando a rocha é obtida por meio de cunhas.

Acabamento	Características
Alisamento (<i>Smooth</i>)	Como sugerido pelo próprio nome, trata-se de uma superfície plana com mínima interrupção.
Serragem (<i>Sawn</i>)	Termo geral que descreve uma superfície serrada. Comparativamente é mais rústica que o padrão levigado ou alisado
Fratura Natural	Superfície de quebra natural conseguida pela separação de material ao longo de planos naturais de clivagem. Geralmente utilizado para ardósias, mas pode ser aplicado em outros tipos de rocha.

Fonte: ASTM C 1528:2002 (Copiada a versão traduzida em Frascá-2004).

3.1 - Caracterização Tecnológica

Compreende a determinação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e petrográficas das rochas ornamentais através de um conjunto de ensaios, análises e determinações, que as qualificam para um determinado uso. Essas características variam em função da mineralogia, da textura, da estrutura, do grau de intemperismo do maciço e de outros fatores do tipo litológico.

Os ensaios de caracterização são feitos em corpos-de-prova extraídos a partir de blocos cúbicos com arestas de dimensão de aproximadamente 40cm coletados nas pedreiras.

As amostras devem representar as características do maciço que se extrai. No caso de variação das características do maciço mais de uma amostra deve ser coletada. Também é importante conhecer a orientação do bloco no maciço seja conhecido, para que os ensaios sejam representativos.

3.1.1 - Análise Petrográfica

Normas: ABNT NBR 12768:1992, EN12407:2000..

É o estudo da natureza de uma rocha. Primeiramente, executa-se a análise macroscópica em amostras-de-mão, seguida do estudo microscópico da seção delgada em microscopia óptica.

É descrita a coloração, a estrutura, a textura, a granulação, a composição mineralógica com indicação, em porcentagem dos minerais essenciais e acessórios, a natureza e a classificação da rocha. Também é obtido o estado microfissural, o estado e

o tipo de alteração dos minerais e a presença ou não de minerais deletérios. Em rochas anisotrópicas devem ser preparadas no mínimo duas seções delgadas com diferentes orientações.

Como exemplo será apresentado o “granito” Azul Bahia (Figura 2), rocha de alto valor comercial principalmente pela coloração azulada. É uma sodalita sienito, da descrição macroscópica constata-se ser uma rocha de cor azul intensa e granulação média. A descrição macroscópica foi obtida do Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil (2004), sendo composta por 51% de microclínio, 30% de sodalita, 10% de cancrinita, 5% de plagioclásio, 2% de agerina e 2% de opacos.

Figura 2 – Granito Azul Bahia.

Existem técnicas auxiliares para avaliar a composição mineralógica das rochas, como o ensaio de coloração seletiva (Figura 3), que quantifica o feldspato potássico, o plagioclásio e o quartzo em rochas de granulação grossa, destacando-se o método de Rodrigues e Moraes (1978).

Figura 3– Ensaio de coloração seletiva no granito Ocre Itabira. Fonte: Gentilmente cedido por Rogério Pinto Ribeiro (2005)

3.1.2 - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água

Normas: ABNT NBR 12766:1992, ASTM C 97:2002, EN 1936:1999 e EN 13755:2002.

A massa específica aparente é utilizada para determinar o peso próprio das placas de rochas. A porosidade aparente, a absorção d'água aparente e por capilaridade são aspectos que devem ser considerados na seleção de rochas que ficam expostas às intempéries e a ambientes de elevada umidade.

3.1.3 - Resistência ao desgaste

Nos ensaios de resistência ao desgaste as norma da ABNT e da CEN possuem procedimentos distintos, não sendo possível a comparação dos resultados. A norma brasileira utiliza o equipamento Amsler (a) para o ensaio ao passo que a européia utiliza o equipamento Capon (b). No primeiro o desgaste é avaliado pela redução de altura

através do atrito entre o abrasivo e a superfície do corpo-de-prova e no segundo através do volume da material removido pelo disco.

(a) Norma: ABNT NBR 12042:1992

O objetivo desse ensaio é determinar a redução da espessura que duas placas de rocha de 7,5x7,5x2,5 cm apresentam após um percurso abrasivo de 1000 metros em máquina Amsler.

Este ensaio é determinante para rochas que se destinam para revestimento de pisos. Materiais com os menores índices de desgaste são os mais adequados para uso em locais de alto tráfego, como estações rodoviárias, shoppings, metrô e outros.

(b) Norma: CEN EN14157:2004

Esse ensaio foi inicialmente desenvolvido para a determinação da resistência à abrasão profunda de peças cerâmicas (ladrilhos) não esmaltadas, sendo atualmente utilizado em rochas ornamentais, como apresentado em Ribeiro *et al.* (2005).

É feito no aparelho denominado abrasímetro CAP (Figura 4), constituído de um disco rotativo de aço, uma caixa de armazenagem de material abrasivo, um funil de escoamento para a saída deste material, um suporte para o corpo-de-prova e um contrapeso.

As amostras depois de lavadas e secas são fixadas no equipamento de forma de que o disco rotativo fique na perpendicular. A sua rotação é de 75 ± 5 rpm e o abrasivo é ajustado de maneira a gerar um fluxo uniforme de $100 \pm 0,05$ g a cada 100 ± 5 rotações. Após 150 rotações a amostra é retirada e o volume do material removido é calculado através da equação (1):

$$V = \left(\frac{\pi \times \alpha}{180} - \text{sen } \alpha \right) \times \left(\frac{h \times d^2}{8} \right) \quad (1)$$

Sendo,

$$\text{sen } \alpha = \frac{2 \times C_{cav}}{d} \quad (2)$$

Onde:

V – Volume de material removido (mm^3)

d – Diâmetro do disco rotativo em mm

h – espessura do disco rotativo em mm

α - ângulo correspondente ao centro do disco até a cavidade em graus

C_{cav} – comprimento da cavidade em mm

(a)

(b)

Figura 4 – (a) abrasímetro disponibilizado pelo Parque de Alta Tecnologia de São Carlos (Parqtec) e (b) detalhe mostrando o disco rotativo tangenciando o corpo-de-prova. Fonte: Ribeiro *et al.* (2005).

3.1.4 - Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear

Norma: ABNT NBR12765:1992 e CEN EN 14581:2004

O objetivo deste ensaio é a determinação do coeficiente de dilatação térmica que é um dos parâmetros utilizados para calcular o espaçamento das juntas entre ladrilhos e placas de rocha empregadas como material de revestimento.

É feito em dois corpos de prova cilíndricos com 3 cm de diâmetro e no mínimo o dobro de altura, retirados nas duas direções do plano de serragem das chapas. Elas são submetidas a aquecimento de 0°C até 50°C e posterior resfriamento no mesmo intervalo de temperatura, determinando-se a variação do comprimento nas duas situações. As determinações dos coeficientes no aquecimento (β_1) e no resfriamento (β_2) são

demonstradas, respectivamente, pelas das equações (3) e (4). O resultado final se dá pela média das leituras do resfriamento e aquecimento dos dois corpos-de-prova.

$$\beta_1 = \Delta L_1 / (L_0 \cdot \Delta T_1) \quad (3)$$

$$\beta_2 = \Delta L_2 / (L_0 \cdot \Delta T_2) \quad (4)$$

Onde:

β_1 – coeficiente de dilatação térmico linear no resfriamento ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

β_2 – coeficiente de dilatação térmico linear no aquecimento ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

ΔL_1 – diferencial de comprimento do corpo-de-prova no resfriamento (mm).

ΔL_2 – diferencial de comprimento do corpo-de-prova no aquecimento (mm).

ΔT_1 – variação da temperatura no resfriamento ($^{\circ}\text{C}$).

ΔT_2 – variação da temperatura no aquecimento ($^{\circ}\text{C}$).

L_0 – comprimento inicial do corpo-de-prova

Segundo Lima (2002) “o tratamento estatístico feito com os valores de β em granitos e gnaisses revelou que o valor característico do coeficiente de dilatação térmica linear é de $8,105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}/(^{\circ}\text{C})$, ou seja, existe uma probabilidade de 95% de que na determinação do β o valor encontrado seja inferior ao valor característico”.

3.1.5 Resistência ao impacto

Normas: ABNT NBR 12764:1992, EN 14158.

Esse ensaio determina a resistência ao impacto de corpo duro de placa de rocha com dimensões de 20x20x3 cm, através da queda de uma esfera de aço, com 1 kg e diâmetro de 6 cm, assentada sobre um colchão de areia.

A esfera é abandonada em queda livre com altura inicial de 20 cm. O procedimento é repetido aumentando-se a altura de queda de 5 em 5 centímetros até que ocorra a ruptura da placa, sendo esta altura o parâmetro de resistência. Caso ocorram

lasqueamento e fissuras na placa essas também devem ser registradas. O resultado final será a média aritmética das alturas que rompem cinco corpos-de-prova.

Esse ensaio tem importância para rochas a serem empregadas nos revestimentos de pisos, paredes até 1,5 metros de altura, degraus, soleiras, mesas, balcões, pias e outros. Quanto maiores forem os valores das alturas encontrados nos resultados, maior será a resistência ao impacto do material. O valor dessa resistência é expresso, portanto, em m.

3.1.6 - Resistência à compressão uniaxial

Normas: ABNT NBR 12767:1992, ASTM C 170:1990(1999) e EN 1926:1999.

O objeto desse ensaio é determinar a tensão de ruptura à compressão das rochas. Para isso a amostra deve ser preparada na forma cúbica com arestas entre 7,0 e 7,5 centímetros, ou no formato cilíndrico com diâmetro de 7,0 e 7,5 centímetros e relação entre base e altura de 1:1.

A amostra é colocada em prensa hidráulica (200 t) e submetida a uma taxa de carregamento de aproximadamente 0,6 Mpa/s até a ruptura. A tensão de ruptura (σ_c) é a relação entre a carga de ruptura e a área da seção transversal do corpo-de-prova.

3.1.7 - Determinação da resistência à tração

Os corpos podem ser solicitados à tração de duas maneiras, uma conhecida como tração simples onde os esforços atuam paralelamente ao eixo do corpo-de-prova, sendo o método brasileiro (a) o mais utilizado, e outra a tração na flexão onde os esforços atuam perpendicularmente a amostra (b) e (c).

(a) É também conhecido por ensaio diametral e Lobo Carneiro e consiste na aplicação de uma força (P) de compressão uniformemente distribuída em uma linha sobre a geratriz de um corpo-de-prova cilíndrico, com diâmetro (D) e altura (L), sendo sua resistência à tração (σ_t) definida pela equação (5):

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (5)$$

No entanto, os ensaios que melhor representam a situação de emprego das rochas para revestimento são os ensaios de tração na flexão (b), destacando o ensaio por três e por quatro pontos (c) descritos a seguir:

(b) Normas: ABNT NBR 12763:1992, ASTM C 99:1987(2000) e EN12372:1999.

Ele fornece o módulo de ruptura, conhecido também como tração na flexão de rochas, que se destinam a material de revestimento.

Amostras prismáticas com dimensão de 20x10x5cm são fixadas em prensa hidráulica sendo a carga aplicada no cutelo superior a uma taxa de carregamento de aproximadamente 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova.

Com a carga de ruptura (P) se calcula a tensão de ruptura à tração na flexão através da equação (6):

$$\sigma_t = 3PL/2bd^2 \quad (6)$$

Onde:

L – Distância entre cutelos inferiores

b – Largura do corpo-de-prova

d – Altura do corpo-de-prova

(c) Normas: ASTM C 880:1998, EN 13161:2001.

É o mais utilizado para determinação da resistência à flexão de placas de rocha fixadas por meio de *inserts* metálicos, pois a espessura e o acabamento da amostra ensaiada são os mesmos da placa que se pretende usar em obra e o carregamento por quatro pontos representa melhor a situação dos esforços causados pelo vento.

Os corpos-de-prova com 381x102x32 mm, ou na espessura que se pretende empregar na obra são instalados na prensa, sendo aplicada uma taxa de carregamento de 0,6 MPa/s até a ruptura. Após determinada a carga de ruptura (P), a resistência à flexão é obtida pela equação (7):

$$\sigma_t = 3PL/4bd^2 \quad (7)$$

Onde:

L – Distância entre os cutelos inferiores

b – Largura do corpo-de-prova

d – Altura do corpo-de-prova

No item 3.5 são mostradas as principais vantagens da utilização do ensaio por quatro pontos em relação ao de três, para placas de rochas aplicadas em fachadas com de *inserts* metálicos.

3.1.8 - Ensaio de congelamento e degelo

Norma: ABNT NBR 12769:1992

Para rochas que se destinam à exportação, principalmente para países do Hemisfério Norte, é necessária a previsão do comportamento da rocha ante ao congelamento.

Corpos-de-prova idênticos aos utilizados nos ensaios de resistência à compressão são submetidos a 25 ciclos de congelamento e degelo, determinando-se posteriormente a resistência à compressão (σ_{cd}).

Através do coeficiente de enfraquecimento (k) pode-se avaliar se a rocha foi afetada ou não pela gelividade. Sendo $k = \sigma_{cd}/\sigma_{nat}$, onde σ_{cd} é o valor médio da resistência à compressão das amostras após o ensaio de congelamento e degelo e σ_{nat} é o valor médio da resistência à compressão das amostras intactas.

Rochas com $k \geq 0,8$ são consideradas não afetadas pela gelividade.

Na revisão desta norma, em meados de março do ano de 2005, pudemos observar uma nova tendência para a determinação do coeficiente de enfraquecimento, que poderá ser determinados por outros ensaios de resistência mecânica e não conjugado exclusivamente ao ensaio de resistência à compressão como era efetuado antes da revisão, ficando a escolha do ensaio à critério do contratante.

3.1.9 - Microdureza Knoop

Norma: Metodologia Quitete (2002).

A dureza Knoop é determinada através de 40 impressões com carga de 1,96N em cada corpo de prova (Figura 5). O comprimento da diagonal é medido, em micrômetros, imediatamente após cada impressão, sob a objetiva de 50X, com o auxílio da escala vernier no sistema da ocular do aparelho.

Figura 5 – Esquema das quarenta impressões realizadas em cada corpo-de-prova. Os números indicam a ordem em que são feitas as impressões.

A dureza Knoop pode ser expressa como a média das quarenta medidas ($HK_{média}$), pelos valores obtidos em curva de distribuição acumulada dos valores de HK em ordem crescente.

Alguns exemplos de resultados de dureza Knoop para granitos ornamentais podem ser obtidos em Ribeiro *et al.* (2005).

3.1.10 - Módulo de deformabilidade estático

Normas: ASTM D3148:2002.

O objetivo desse ensaio é a determinação do módulo de deformabilidade estático de rochas submetidas a esforços compressivos uniaxiais. Para tanto, corpos-de-prova

prismáticos, com relação entre base e alturas entre 1.2 e 1:2,5, são submetidos à carga em prensa hidráulica, com taxa de carregamento igual do ensaio de compressão, sendo as deformações medidas através de defletômetros.

O ensaio permite obter uma curva tensão x deformação da rocha. O intervalo para cálculo do módulo é entre 50 e 70 % do valor da tensão de ruptura e obtido através da seguinte equação (8):

$$E_e = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad (8)$$

Onde:

E_e - Módulo de deformabilidade estático (MPa);

$\Delta\sigma$ - Incremento da tensão axial no intervalo considerado (MPa);

$\Delta\varepsilon$ - Incremento da deformação axial.

3.1.11 - Módulo de elasticidade na flexão

Normas: ASTM C 1352:1996(2002).

Esse ensaio é executado de maneira semelhante à determinação da resistência à flexão por quatro pontos. As principais diferenças são a existência de quatro defletômetros localizados na face superior do corpo-de-prova e a realização de dois carregamentos, seguidos de descarregamento, com carga de 50% da carga de ruptura prevista.

A equação (9) mostra o cálculo do módulo de elasticidade.

$$E = \frac{11WL^3}{64\Delta bd^3} \quad (9)$$

Onde:

E – Módulo de elasticidade na flexão (MPa)

W – Carga total aplicada no corpo-de-prova (N)

Δ - Média, em módulo, das deflexões (mm)

L – Distância dos cutelos inferiores (mm)

b – largura do corpo-de-prova

d – comprimento do corpo-de-prova

3.1.12 - Determinação das velocidades de propagação de ondas ultrasônicas

Normas: ASTM D 2845:2000.

Esse ensaio apresenta como resultado a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas primárias e secundárias, também conhecidas respectivamente, como longitudinal e transversal. Também se obtém o módulo de elasticidade de Young.

Esse ensaio é realizado em corpos-de-prova cilíndricos ou cúbicos de forma que sejam garantida a planicidade das faces onde situam-se os transdutores e que todas as faces opostas mantenham paralelismo.

O teste é realizado acoplando-se em uma das faces da amostra um transmissor de ondas, que converte pulsos elétricos em mecânicos, e no oposto um receptor que faz função inversa do receptor.

O tempo de percurso das ondas primárias é de fácil obtenção, sendo a primeira onda a chegar no receptor após sua partida do transmissor, essa medida é auxiliada pelo osciloscópio. Já as ondas secundárias são de difícil interpretação, pois sofrem interferência da vibração dos transdutores e da reflexão das ondas longitudinais, requerendo do operador bastante conhecimento e experiência.

A seguir são mostradas nas equações (10), (11) e (12) para a obtenção das velocidades de propagação e do módulo de Young:

$$V_p = L_p / T_p \quad (10)$$

$$V_s = L_s / T_s \quad (11)$$

Onde:

V – Velocidade de propagação das ondas (m/s);

L – Distância percorrida pelo pulso (m);

T- Tempo de percurso (s) e

Os índices p e s designam ondas primárias e secundárias respectivamente.

$$E = \left[\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) \right] / (V_p^2 - V_s^2) \quad (12)$$

Onde:

E -Módulo de elasticidade de Young (Pa)

ρ - massa específica em (kg/m³)

3.2 – Requisitos mínimos das rochas silicáticas em revestimentos

As rochas silicáticas, granitos e granitóides em geral, são as mais utilizadas no revestimento de fachadas de edifícios altos no Brasil, ao passo que os “mármore” tiveram um decréscimo no seu uso, devido a inúmeras patologias evidenciadas nos últimos anos.

Antes da especificação da rocha diretamente para fins de revestimento, é preciso conhecer e avaliar as características dos diversos tipos litológicos existentes, que podem ser mais bem avaliadas quando se dispõe de valores limites para as suas propriedades. (Frazão e Farjallat - 1995).

Estes valores, para os diversos tipos litológicos existentes, podem ser obtidos através das normas ASTM de especificação apresentadas na Tabela 7. Para granitos, a Tabela 8 obtida da norma ASTM C 615:1999 apresenta os valores limites para as propriedades físicas.

Caso o granito tenha o valor de sua propriedade menor que o mínimo especificado, ele poderá ser utilizado desde que seja feita uma avaliação por autoridade de engenharia competente.

Tabela 7: Normas ASTM sobre especificação de rochas.

NORMA ASTM	NÚMERO
Ardósias para telhado	ASTM C 406 -00
Mármore para uso exterior	ASTM C 503 - 03
Rochas Calcárias	ASTM C 568 - 03
Granitos	ASTM C 615 - 03
"Quartz-Based Stone"	ASTM C 616 - 03
Ardósias	ASTM C 629 – 03
Serpentitos	ASTM C 1526 – 03
Travertinos	ASTM C 1527 – 03

Fonte: <http://www.astm.org>.

Tabela 8 - Especificações das propriedades físicas dos granitos

Propriedades Físicas	Especificações	Ensaio ASTM
Absorção por peso, máximo, %	0,4	C 97
Densidade, mínimo, lb/ft ³ (kg/m ³)	160 (2560)	C 97
Resistência à compressão, mínimo, psi (MPa)	19000 (131)	C 170
Módulo de ruptura, mínimo, psi (MPa)	1500 (10,34)	C 99
Resistência à abrasão, mínimo, psi (MPa)	25	C 241/C 1353
Resistência à flexão, mínimo, psi (MPa)	1200 (8,27)	C 880

Fonte: ASTM C 615:1999.

Para avaliar as propriedades das rochas silicáticas brasileiras Frazão e Farjallat (1996) estudaram as seguintes propriedades de 158 rochas: massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água aparente, velocidade de propagação de ondas longitudinais, dilatação térmica linear, módulo de deformabilidade estático, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão 3 pontos, impacto de corpo duro e desgaste abrasivo Amsler .

Eles avaliaram que quase a totalidade das rochas brasileiras ficaram dentro dos valores especificados pela ASTM C 615:1999, o que demonstra a viabilidade de seu uso como material de revestimento.

A seguir serão mostrados os gráficos com as distribuições dos valores de cada uma das propriedades das rochas obtidas pelos autores citados, juntamente com alguns tipos de rochas comercializadas obtidos do Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil (2004).

Massa específica aparente seca

Figura 6 - Distribuição dos valores de massa específica aparente seca de rochas silicáticas brasileiras.
Fonte: Frazão e Farjallat (1996).

Capão Bonito – 2635 Kg/m^3

Sienogranito

(a)

Preto absoluto – 3128 kg/m^3

Diabásio

(b)

Figura 7 – Exemplos de valores de massa específica aparente seca de rochas brasileiras. (a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Porosidade

Figura 8 - Distribuição dos valores de porosidade de rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996).

Cobalt Blue - 0,1%
Biotita Sodalita Nefelina Sienito
(a)

Golden Sea Ligth - 0,96%
Monzogranito
(b)

Figura 9 – Exemplos de valores de porosidade de rochas brasileiras.(a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Absorção de água

Figura 10 - Distribuição dos valores de absorção de água rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996).

Juparaná Delicato-0,11%
Granada Biotita Gnaiss

(a)

Amêndoa Jacigua - 0,41%
Biotita Monzogranito

(b)

Figura 11 – Exemplos de valores de absorção de água de rochas brasileiras.(a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Velocidade de propagação de ondas longitudinais

Figura 12 - Distribuição dos valores de velocidade de propagação de ondas rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996)

Dilatação térmica linear

Figura 13 - Distribuição dos valores de coeficiente de dilatação térmica linear de rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996).

Branco desiree – $4,90 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$

Leucognaisse Monzogranítico

(a)

Monte Santo – $8,40 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$

Granito

(b)

Figura 14 – Exemplos de valores de dilatação térmica de rochas brasileiras.(a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Resistência a compressão

Figura 15 - Distribuição dos valores de resistência à compressão de rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996)

Rosa algodão 90.32 Mpa

Sienito

(a)

Ravel – 227,9 MPa

Basalto

(b)

Figura 16 – Exemplos de valores de resistência à compressão rochas brasileiras.(a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Resistência a flexão por 3 pontos

Figura 17 - Distribuição dos valores de resistência à flexão por 3 pontos de rochas silicáticas brasileiras.
Fonte: Frazão e Farjallat (1996)

Amarelo Santa Cecília clássico – 7,21 MPa
Biotita Gnaiss Monzogranítico

(a)

Preto absoluto – 33,90 MPa
Diabásio

(b)

Figura 18 – Exemplos de valores de resistência à flexão de rochas brasileiras. (a) rocha com baixo valor e (b) rocha com alto valor.

Resistência ao impacto de corpo duro

Figura 19 - Distribuição dos valores de resistência ao impacto de corpo duro de rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996)

Resistência ao desgaste Amsler

Figura 20 - Distribuição dos valores de resistência a abrasão de rochas silicáticas brasileiras. Fonte: Frazão e Farjallat (1996)

Branco Santa Maria – 0,31 mm

Leucognaisse Monzogranítico

(a)

Creme Marfin – 1,18 mm

Granada Gnaisse Monzogranítico

(b)

Figura 21 – Exemplos de valores de resistência à abrasão de rochas brasileiras. (a) rocha com alto valor e (b) rocha com baixo valor.

3.3 – Especificação das rochas silicáticas para revestimento.

É necessário especificá-las de forma a harmonizar suas propriedades tecnológicas com as solicitações mecânicas e do meio ambiente das edificações. A Tabela 9 apresenta os principais ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais e para revestimento em função do local e do ambiente de uso.

Tabela 9 – Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego.

Características Tecnológicas	Pisos		Paredes		Fachadas	Tampos de cozinha
	Interior	Exterior	Interior	Exterior		
Análise Petrográfica	x	x	x	x	x	X
Absorção D'água	x	x	x	x	x	X
Resistência ao Desgaste Amsler	x	x				
Resistência à Compressão			x	x	x	
Resistência à Flexão	x	x			x	X
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	x		x		X	
Acabamento superficial	x	x	x		x	X
Resistência a agentes de limpeza	x	x	x	x	x	X
Durabilidade	x		x		x	x

Fonte: Frasca (2004).

Quanto à especificação dos valores mínimos, para pisos a norma CEN EN 1341:2001 no anexo B apresenta metodologia para dimensionamento da espessura dos ladrilhos em função da carga de ruptura definida em relação ao tipo de uso: (a) fins decorativos, (b) áreas de pedestres, (c) jardins, balcões, áreas de ciclistas, (d) entrada de garagens, motos e veículos leves (e) áreas comerciais grandes sujeito ao trânsito de veículos e pedestres, (e) áreas sujeitas ao tráfego de caminhões e (f) postos de gasolina, ruas e rodovias.

Gonzalez-Mesonez (2005) apresenta valores mínimos para o parâmetro de resistência Capon em função do tipo de solicitação: tráfego individual 26 mm, normal 24 mm, coletivo intenso lento 22 mm, degraus e coletivo intenso e rápido 20 mm. Em fachadas não é possível estabelecer valor mínimo para a resistência à flexão da rocha, pois deve-se avaliar o tamanho das placas e o posicionamento dos *inserts*, sendo portanto necessário a execução do cálculo estrutural conforme apresentado no capítulo 5.

CAPÍTULO 4

REVESTIMENTO DE FACHADAS COM ROCHAS

O método mais comumente utilizado no assentamento de placas de rochas em fachadas com até 3,00 m de altura emprega a adesão física com argamassas tradicionais, geralmente compostas de cimento e areia. Em edifícios altos as placas são de maiores dimensões inviabilizando esse processo, principalmente devido ao risco de ocorrer deslocamento.

Uma maneira de contornar o problema em edifícios de até 15 metros foi o uso de telas fixadas na estrutura por meio de chumbadores expansivos para ancorar as placas (Figura 22). Para isso, antes da concretagem das placas, elas devem ter seu dorso preparado com ranhuras para receber arames que realizarão a ancoragem (Figura 23).

Figura 22 – Esquema da tela onde se fixam as placas de rocha. Fonte: Flain (1995).

(a)

(b)

Figura 23 – (a) Ranhuras realizadas no dorso de placa de rocha e (b) placa preparada com grampos para ancoragem na tela. Fonte: Maranhão (2002).

Atualmente, o método mais eficaz para revestimento de fachadas de altos edifícios utiliza *inserts* metálicos que elimina o uso de argamassa, possui produtividade elevada, auxilia no isolamento térmico da edificação e aumenta a segurança do revestimento.

4.1 - Sistema de fixação por meio de *inserts*

A Figura 24 ilustra este sistema, mostrando que não há contato direto entre a estrutura e a placa de rocha. Os *inserts* fixam a rocha através de um prolongamento existente em sua extremidade, sendo esse conjunto ancorado na estrutura da edificação. No Brasil, as ancoragens, na maioria dos casos, são realizadas em estruturas de concreto por meio de chumbadores expansivos.

Figura 24 – Sistema de revestimento de fachadas com placas de rocha, onde: (a) estrutura da edificação; (b) *insert*; (c) placa de rocha e (d) colchão de ar. Fonte: Moreira *et al.* (2005a)

As placas devem ser fixada no mínimo em três pontos, sendo mais comumente por quatro (norma DIN 18516-3:1990), sendo demonstrado na Figura 25 os locais mais usuais para realização da fixação na placa.

Figura 25 – Locais de fixação do *insert* metálico nas placas de rocha, sendo (a) fixação pelas laterais e (b) fixação pelas partes superior e inferior. Fonte: Moreira *et al.* (2005b).

Flain (1995) apresenta na Figura 26 os dois principais sistemas de fixação, sendo (a) o americano onde o componente de fixação possui a forma de chapa ou perfil e (b) o alemão onde o dispositivo tem a forma de pino.

Figura 26 – Sistemas de fixação por *inserts*. Fonte: Flain (1995)

4.2 – Sistema Alemão

Technical drawing illustrating the reinforcement details for a slab-beam joint. The drawing shows a cross-section of a slab with a width e and an effective depth of $2,5e$. A circular hole represents a reinforcement bar, with a diameter of at least ≥ 15 . The distance from the bar to the nearest edge is also at least ≥ 15 . The bottom edge of the slab is shown with a jagged break line, indicating a continuation of the structure.

Gil (1995) também discute sobre a localização dos pontos de fixação dos *inserts* na placa.

4.3. – Aspectos para especificação de placas

Devem ser considerados três aspectos principais: (a) espessura, (b) controle das características da placa e (c) aspectos petrográficos.

(a) - Segundo a norma DIN 18516-3:1990 a espessura mínima das placas em fachadas é função do ângulo de assentamento. As placas instaladas na horizontal ou até um ângulo de 60° devem ter a espessura mínima de 40 mm, acima desse ângulo a mínima de 30 mm.

Na norma ASTM C 1242:2003 esse ângulo não é levado em conta, mas sim o tipo de rocha. Nos granitos, ardósias, rochas calcárias de alta densidade, mármore e travertinos a espessura mínima das placas deve ser de 30 mm. Nas rochas calcárias de baixa densidade, ela deve ser de 50 mm.

Nas normas ABNT NBR13707:1996 e ABNT NBR13708:1996 não existe especificação quanto à espessura mínima, sendo que na prática brasileira é utilizado 20 mm.

(b) – O controle das placas deve ser feito na obra, evidentemente antes do assentamento, por profissional treinado. A seguir são listados os principais itens que devem ser verificados:

- As dimensões da placa devem estar de acordo com o projeto, e suas tolerâncias são apresentadas na Tabela 10;
- Se as placas forem recebidas na obra já furadas, devem ser conferidas, individualmente, com o projeto;
- A tonalidade e a textura das placas tem que seguir padrões definidos devendo o material ser procedente da mesma pedreira e preferencialmente do mesmo lote.
- A existência de fissuras, trincas e imperfeições que venham a comprometer o desempenho estrutural da placa após a sua instalação é motivo para rejeição do material. Uma maneira prática de realçar essas feições é o umedecimento da superfície da placa com um pano molhado.

Tabela 10 - Tolerâncias dimensionais propostas para placas e ladrilhos para revestimentos de paredes e fachadas obtidas por processo de serragem e polimento.

Medida	Dimensão	Tolerância
Espessura (e)	12 mm < e < 30 mm	± 10 %
	30 mm < e < 80 mm	± 3 mm
	E > 80 mm	± 5 mm
Planicidade	0,2 % do comprimento da chapa não excedendo 3 mm	
Comprimento ou largura nominal	C < 600 mm, e > 50 mm	± 2 mm
	C < 600 mm, e < 50 mm	± 1 mm
	C ≥ 600 mm, e > 50 mm	± 3 mm
	C ≥ 600 mm, e < 50 mm	± 1,5 mm

Fonte: CEN EN 1469:2004.

(c) – É de extrema importância conhecer o comportamento da rocha em função do tempo e do ambiente de exposição.

Os mármore, por exemplo, não são recomendados para os revestimentos externos.

Os charnockitos “granitos verdes”, rochas de grande comercialização, tem sua coloração afetada (hiperstênio) principalmente em climas tropicais se for utilizada em revestimentos externos.

Granitos e granitóides contendo sulfetos (pirita, pirrotita e calcopirita) e/ou granadas feríferas sofrem manchamentos por alteração destes minerais.

Os feldspatóides assim como outros minerais essenciais ou acessórios presentes nas rochas podem se degradar quando em contato com poluentes existentes na atmosfera (óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros).

Na previsão do comportamento das placas em fachada a norma ASTM C 1242:2003 recomenda a análise de obras existentes (quanto mais antiga melhor) que possuam o mesmo tipo de rocha e o ambiente de exposição semelhante.

4.4 –Aspectos para especificação dos *inserts*

Inserts são dispositivos metálicos, geralmente, fabricados em aço inoxidável, que servem como elemento de ligação entre a estrutura da edificação e a placa de rocha.

Segundo a norma ABNT NBR 13707:1996 os *inserts* possuem as seguintes funções:

- Fixar as placas na estrutura da edificação e, freqüentemente, conectar umas as outras;
- Sustentar o peso próprio do revestimento, impedir o seu tombamento, e resistir à ação dos ventos, a pressão interna e a outras cargas passíveis de atuação;
- Absorver as deformações diferenciais (dilatações e contrações) entre o revestimento e o suporte, de modo a permitir a dissipação das tensões, evitando que estas gerem esforços adicionais no revestimento;

Os dispositivos de fixação conforme a função exercida podem ser classificados em sustentadores ou retentores. Os sustentadores são responsáveis pela sustentação do peso próprio das placas e outras eventuais ações verticais. Os retentores têm a função de impedir o tombamento das placas, devido às ações perpendiculares a estas.

Nas placas assentadas pela parte superior e inferior, Figura 25 (a), um mesmo *insert* serve de sustentador da placa acima e de retentor da placa abaixo (Figura 28). Nas assentadas pelas laterais, Figura 25 (b), os *inserts* situados na porção inferior da placa exercem a função de sustentação e os superiores a retenção (Figura 28).

Figura 28 – Funções dos dispositivos de fixação das placas de rocha. (a) Placas fixadas pela parte inferior/superior e (b) placas fixadas pela lateral. Fonte: ABNT NBR 13707:1996.

4.4.1 – Formato

Segundo a norma ASTM C 1242:2003, os *inserts* devem ser projetados de forma que tenham poucos componentes e sejam de fácil aplicação.

O formato do *insert* depende, entre outras, do local onde a placa é aplicada no edifício e se a fixação se dá nas laterais da placa ou na parte superior/inferior. No mercado encontram-se diversos tipos, sendo alguns apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Tipos de *inserts* do sistema alemão: (a) utilizado para o fechamento de painéis e pilares, (b) utilizado principalmente para o revestimento de vigas e (c) para travamento de placas no topo. Moreira *et al.* (2005b).

Os dois primeiros tipos de *inserts* são os mais comumente utilizados. Eles são compostos de 3 partes, sendo a primeira constituída do chumbador que realiza a ancoragem do sistema na estrutura da edificação. A segunda e a terceira fazem a ligação entre a placa de rocha e a estrutura da edificação.

Estas duas partes são ligadas por meio de dois furos alongados em sentidos opostos, conforme Figura 30, por um parafuso. O principal objetivo dessa ligação é permitir a correção tanto no prumo quanto no alinhamento das placas de rocha.

Figura 30 – Foto dos furos alongados em sentidos opostos. Moreira *et al.* (2005b).

Para a fabricação dos *inserts* a norma ABNT NBR 8800:1986 especifica que a espessura mínima das chapas para componentes metálicos é de 3 mm. Esta também apresenta as dimensões dos furos em função do diâmetro do parafuso, conforme Tabela 11, e suas distâncias máxima e mínima em relação a borda da chapa (Tabela 12).

Tabela 11 - Dimensões máximas de furos para parafusos.

	Diâmetro nominal do parafuso (D)	Diâmetro do furo padrão	Diâmetro do furo alargado	Medidas do furo pouco alongado	Medidas do furo muito alongado
Dimensões em mm	≤ 24	D+1,5	D+5	(D+1,5)x(D+6)	(D+1,5)x2,5D
	27	28,5	33	28,5x35	28,5x67,5
	≥ 30	D+1,5	D+ 8	(D+1,5)x(D+9,5)	(D+1,5)x2,5D

Fonte: ABNT NBR 8800:1986 (modificado)

Tabela 12 – Distancias mínimas entre o centro do furo padrão e a borda da placa.

Diâmetro (D) (ASTM)	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1/2"	22	19
5/8"	29	22
3/4"	32	26
7/8"	38	29
1"	44	32
1 1/8"	50	38
1.1/4"	57	41
>1.1/4"	1,75D	1,25D

Fonte: ABNT NBR 8800:1986 (modificado)

As distâncias mínimas entre os furos alargados e alongados em relação as bordas seguem o valor da Tabela 12 adicionado-se o valor $\beta \times D$, sendo D o diâmetro do parafuso e β definido a seguir:

- $\beta = 0$; para furos alongados na direção paralela da borda considerada.
- $\beta = 0,12$; para furos alargados.
- $\beta = 0,2$; para furos pouco alongados na direção perpendicular da borda considerada.
- $\beta = 0,75$; para furos muito alongados na direção perpendicular da borda considerada.

A distância máxima do centro do parafuso até a borda da chapa não pode exceder 12 vezes a espessura da chapa, nem 150 mm.

4.4.2 - Material

Na seleção dos materiais para revestimento de fachadas as características mais importantes são a resistência mecânica e à corrosão. O aço carbono e o inoxidável são os mais adequados.

O aço carbono tem resistência mecânica mais elevada, mas necessita de tratamento anticorrosivo, que é feito ou por galvanização à quente ou pela aplicação de revestimentos não metálicos orgânicos (tintas e resinas). O principal inconveniente é a necessidade de manutenção, sendo inviável o seu uso em fachadas.

Portanto, os aços inoxidáveis, que possuem excelente resistência à corrosão, são os mais empregados em revestimento de fachadas. Eles são obtidos com a adição de Cromo em ligas de aço carbono em teores superiores a 12%. De modo geral são classificados em três tipos: martensíticos, ferríticos e austeníticos. Na Tabela 13 encontram-se as principais vantagens e desvantagens entre esses aços.

Tabela 13 – Sumário das principais vantagens e desvantagens dos aços inoxid

Aço	Exemplos	Vantagens	Desvantagens
Ferrítico	410S, 430, 446	Custo baixo e resistência à corrosão moderada	Limitada resistência à corrosão
Austenítico	304, 304L, 316, 316L	Amplamente utilizado, boa resistência à corrosão geral, excelente conformabilidade e soldabilidade	Limitada resistência à corrosão sob tensão
Martensítico	420, 431	Endurecível por tratamento térmico	Conformabilidade e soldabilidade limitada

Fonte: Guia brasileiro do aço inox 2003.

Dentre eles, os aços austeníticos, por possuírem níquel em suas ligas, são os utilizados na fabricação dos *inserts*. Na Tabela 14 é apresentada a composição química dos principais aços austeníticos.

Tabela 14 - Composição química dos aços inoxidáveis austeníticos, designando “L” baixo teor de carbono.

Aço	Elemento Químico - %							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
ABNT 304	0,08 (max.)	2,00 (max.)	0,045 (máx.)	0,030 (máx.)	1,00 (máx.)	18,00 a 20,00	8,00 a 10,50	-
ABNT 304L	0,030 (máx.)	2,00 (max.)	0,045 (máx.)	0,030 (máx.)	1,00 (máx.)	18,00 a 20,00	8,00 a 12,00	-
ABNT 316	0,08 (max.)	2,00 (max.)	0,045 (máx.)	0,030 (máx.)	1,00 (máx.)	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	2,00 a 3,00
ABNT 316L	0,030 (máx.)	2,00 (max.)	0,045 (máx.)	0,030 (máx.)	1,00 (máx.)	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	2,00 a 3,00

Fonte ABNT NBR 5601:1980

A norma ABNT NBR 13707:1996 especifica o uso do aço inoxidável do tipo ABNT 304 (AISI 304) para atmosferas urbanas e industriais isenta de cloretos e do aço ABNT 316 (AISI 316) para atmosferas marítimas, urbanas e industriais com presença de cloretos.

A norma alemã DIN 18516-3:1990 preconiza que os *inserts* devem ser de aço austenítico da classe A4 com propriedades da classe 70, especificado na DIN 267- Parte 11.

4.4.3 - Aspectos da resistência à corrosão

Embora os *inserts* possuam excelente resistência à corrosão podem corroer em determinadas situações, sendo importante o conhecimento dessas causas para evitar o colapso do sistema.

Uhlig (1970) e Gentil (1970) apresentam as principais causas de corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos: (a) corrosão intergranular, (b) corrosão sob tensão e (c) corrosão alveolar, descritas a seguir.

(a) - Quando o dispositivo de aço inox passa pelo processo de soldagem, sendo aquecido ou resfriado lentamente entre 425 e 815°C, pode ocorrer um fenômeno conhecido por sensitização, tornando mais susceptível à corrosão.

É explicado pela precipitação do carbeto de cromo (Cr_{23}C_6) nos contornos dos grãos, ficando essa zona com um empobrecimento no teor de cromo.

Para prevenir a presença de carbetos devem ser especificados os aços tipo L (*low*) que possuem baixo teor de carbono.

(b) - Tensões de trabalho ou residuais próximas à tensão de escoamento do aço em ambientes corrosivos (principalmente cloretos) e aquecidos. As principais medidas profiláticas são as reduções das tensões e/ou tratamentos metalúrgicos.

(c) – Os fatores que promovem esta forma de corrosão são as soluções de cloretos, de sais oxidantes, neutras e aeradas de cloreto, sendo aumentada a taxa de corrosão com o aumento da temperatura. Os métodos mais usuais para evitar este tipo de corrosão consistem em evitar a concentração de íons halogênicos e manter alta concentração de oxigênio.

4.5 - Juntas

Os espaçamentos entre placas segundo a ASTM C 1242:2003 têm as funções de acomodar:

- As tolerâncias dimensionais das rochas;
- As tolerâncias de montagem;
- As variações dimensionais ocorridas pelas variações de temperatura e umidade;
- As deformações do edifício;
- Os efeitos de longo tempo causados por fluência.

A norma DIN 18516-3:1990 Parte 3 especifica um mínimo de 8mm e folga mínima de 2 mm entre a aresta superior da placa e a chapa do *insert*.

Gil (1995) trata do dimensionamento das juntas em rochas, em relação ao tamanho das placas, e estabelece juntas de 6mm para placas com até 0,3 m² de área, com 8 mm até 1,25 m² e 10mm para maiores.

Podem ser aplicados selantes nas juntas e a norma da NBR 13707:1996 estabelece que eles devem ser colocados sobre um cordão de apoio inerte e não aderente inserido na junta (Figura 28). Ele deve de vinil, polipropileno, polietileno, butil e poliruetano (ASTM C 1242:2003).

A profundidade de aplicação do selante deve ser metade da largura da junta ou então seguir a recomendação do fabricante.

Figura 31– Desenho esquemático da junta.(a) Placa de rocha, (b) cordão de apoio e (c) selante.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO ESTRUTURAL

A etapa que precede o dimensionamento do sistema de revestimento de fachadas por meio de *inserts* metálicos é a seleção dos materiais. Os *inserts* devem ter boa resistência à corrosão e a rocha à alteração.

Com base na resistência e na deformabilidade é feito o cálculo estrutural que define as dimensões dos elementos, levando em conta as solicitações mecânicas atuantes capazes de alterar o estado de tensão de um corpo ou de nele provocar uma deformação.

O primeiro passo para o dimensionamento é definir as solicitações atuantes no sistema, quantificá-las e determinar seu ponto de aplicação.

5.1 - Definição das solicitações

As solicitações que atuam no revestimento das placas de rocha por *inserts* são a ação do vento, a carga devido ao peso próprio das placas e as variações de temperatura. As demais solicitações referentes à deformação lenta do concreto e outras não exercem influência sobre o revestimento.

5.2 - Quantificação das solicitações

5.2.1 - Vento

A solicitação do vento é relacionada diretamente com a sua velocidade, que pode ser obtida como preconiza a norma ABNT NBR 6123:1988. Não são previstas situações

especiais, como por exemplo regiões sujeitas a canalização de vento, sismos e outras que devem ser analisadas pelo projetista.

O primeiro passo definido na norma é determinar a ação básica do vento (v_0) que atua na região da edificação, levando em conta:

- Rajada de vento de três segundos;
- Período de retorno de cinquenta anos, com probabilidade de 63% de ser excedida pelo menos uma vez;
- Medições com anemômetros em altura de 10 m, em terreno plano, campo aberto e livre de obstruções.

A velocidade do vento de qualquer região brasileira pode ser determinada usando o gráfico na forma de isopletas da Figura 32.

Figura 32 – Gráfico da isopletas. Fonte: Sáles *et al.* (1994).

- Região I – Vento básico menor que 30 m/s;
- Região II – Vento básico variando entre 30 e 35 m/s;
- Região III – Vento básico variando entre 35 e 40 m/s;
- Região IV – Vento básico variando entre 40 e 45 m/s;

- Região V – Vento básico variando entre 45 e 50 m/s.

A etapa seguinte é a definição da velocidade característica do vento (v_k), que corrige a velocidade básica, levando em conta a edificação nos seguintes aspectos:

- Topografia do local;
- Rugosidade do terreno;
- Altura da edificação;
- Dimensões da edificação;
- Tipo de ocupação.

Sendo definida pela da equação (13):

$$V_K = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (13)$$

Onde V_0 é a velocidade básica do vento obtida a partir das isopletras, S_1 é o fator topográfico, S_2 é o fator da rugosidade do terreno e S_3 é o fator estatístico, obtidos pela da norma.

Através das considerações apresentadas em Salles *et al.* (1994), segundo o teorema de Bernoulli, é possível obter a pressão estática que atua na edificação (conhecida como pressão de obstrução- q) a partir da velocidade característica de vento.

$$q = 0,625.V_K^2 \quad (14)$$

A definição da carga de vento uniformemente distribuída na edificação (Q) e do coeficiente de pressão C_p são dadas, respectivamente, pelas equações (15) e (16):

$$Q = q.C_p \quad (15)$$

$$C_p = C_{pe} - C_{pi} \quad (16)$$

Onde C_{pe} é o coeficiente de pressão externa e o C_{pi} é o de pressão interna, obtidos através da norma.

O coeficiente de pressão externa (C_{pe}) é obtido através de tabela existente na norma ABNT NBR 6123:1988 em função da altura, largura, comprimento da edificação e da direção do vento.

A mesma norma estabelece a utilização de altos coeficientes de C_{pe} (conhecidos por C_{pe} médio) para o dimensionamento de partes da estrutura, como tesouras, caixilhos, telhas e sistemas de revestimento.

O coeficiente de pressão interna (C_{pi}) leva em consideração as aberturas existentes na edificação. Nas obras de revestimento de fachadas seu valor pode ser considerado nulo, pois as aberturas são pequenas, sendo em muitos casos seladas.

Os ventos atuantes podem ser de sobre-pressão, Figura 33 (a), de valor positivo, ou de sucção, Figura 33 (b), de valor negativo. Sempre no dimensionamento deve-se avaliar o maior valor nas duas situações, determinando qual delas é a crítica.

No dimensionamento da espessura de placas sempre o valor crítico é referente as ações de sucção, no caso dos outros elementos do sistema deve-se avaliar as duas situações.

Figura 33 – Ações do vento nas placas.(a) Vento de sobre-pressão e (b) vento de sucção.

5.2.2 - Peso Próprio

As placas assentadas em fachadas de edifícios estão sujeitas ao umedecimento existente por ação das chuvas, sofrendo um acréscimo de peso. Portanto a massa específica de material rochoso se situa entre a condição seca e a saturada. A sua quantificação é difícil, sendo utilizada a condição mais crítica, que é a massa específica

saturada (ρ_{asat}), determinada pela norma ABNT NBR 12766:1992, através da equação (17):

$$P = \rho_{\text{asat}} \cdot (h \cdot l \cdot e) \cdot g \quad (17)$$

Onde h é a altura da placa, l é a largura da placa, e é a espessura e g é a aceleração da gravidade.

5.2.3- Variação de temperatura

As deformações provocadas pela diferença de temperatura podem gerar esforços extras no sistema. Para evitá-los é necessário quantificá-los e distribuí-los entre as folgas existentes, como as juntas entre placas e a folga existente entre o furo da rocha e o pino do *insert*.

Para se ter uma noção quantitativa dessa deformação, calculou-se para a rocha Branco Cacatua, com dimensões de 1 x 1 m, com coeficiente de dilatação igual a $11,60 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$, e variação de temperatura de 50°C . Nessa situação a placa tem uma deformação de 0,3 mm em cada sentido o que é facilmente dissipado pelas folgas do sistema, não gerando esforços adicionais.

5.3 - Ponto de aplicação

São mostrados na Figura 34 os pontos de aplicação, a direção e o sentido das ações que atuam no sistema de revestimento. A ação do vento pode ser de sucção ou sobre-pressão, a carga devido ao peso próprio tem seu ponto de aplicação no meio da placa e a variação de temperatura gera tensões na placa.

Figura 34 – Ações atuantes nas placas devido: (a) ao vento, (b) ao peso próprio e (c) às variações de temperatura.

5.4- Dimensionamento da placa

Para a realização do cálculo estrutural em qualquer obra de engenharia, o primeiro passo é definir o tipo de estrutura em estudo. Embora, muitas vezes as placas de rocha sejam tratadas como uma estrutura em viga, do ponto de vista estrutural o correto é tratá-las uma estrutura laminar. Entre estas destacam-se as chapas, as cascas e as placas.

As estruturas em placa são a melhor forma de representar as placas de rocha, definido por Salles *et al.* (1998) como uma folha plana sujeita principalmente a esforços fora de seu plano médio (Figura 35).

Figura 35 – Estrutura em placa e a principal tensão atuante no sistema. Fonte: Salles et al. (1998).

O estudo destas estruturas é mais complexo que o das lineares (barras, vigas e pilares) e é feito através da teoria das placas, que se baseia na teoria da elasticidade.

O tipo de vinculação que melhor representa a fixação das placas são quatro apoios pontuais simples, que permitem os movimentos de rotação e restringem os de translação.

Na literatura existem diversos ábacos e tabelas para o estudo das tensões atuantes nas estruturas em placa, porém não representam satisfatoriamente a situação analisada. Portanto, recorreu-se ao programa *Strap*, que utiliza o método dos elementos finitos e os conceitos das estruturas em placa, para definir as tensões atuantes, conforme Moreira *et al.* (2005-a).

A largura, a altura e os pontos de apoio são definidos pelo arquiteto através do projeto de paginação, ficando a definição da espessura à cargo do projetista estrutural.

5.4.1 - Resistência da placa

A única ação que exerce esforço nas placas assentadas verticalmente é a do vento. O peso próprio exerce esforços apenas nos *inserts* e as deformações no sistema são absorvidas pela folga existente entre o pino do *insert* e o furo da rocha e pelas juntas.

Devido à solicitação de vento, a ruptura da placa pode ocorrer através de esforços de flexão, sendo a sua resistência última determinada através de ensaios, preferencialmente de flexão à quatro pontos, que melhor representam as situações de uso (visto no item 3.4).

Nas rochas anisotrópicas é preciso avaliar a resistência à flexão da placa na direção horizontal e vertical ante as solicitações atuantes. Também é preciso considerar no dimensionamento que os resultados dos ensaios nem sempre representam a ruptura do modelo em escala real (Ferreira, 2005).

5.4.2 - Cálculo estrutural

O objetivo do dimensionamento é garantir a capacidade da estrutura em resistir às ações que vierem a solicitá-la durante sua vida útil sem que ocorra ruína ou colapso.

Essa segurança é introduzida por critérios desenvolvidos pela engenharia das estruturas, destacando-se o critério das tensões admissíveis e o dos estados limites.

O método utilizado neste trabalho é o das tensões admissíveis, sendo o adotado pelas normas NB-11 (madeira), NB-143 (perfis leves), conforme equação (18).

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_{\text{ens}}}{FS} \quad (18)$$

Onde: “ $\sigma_{\text{máx}}$ ” é a máxima tensão atuante na placa ; “ σ_{adm} ” é a tensão admissível; “ σ_{ens} ” é a tensão obtida no ensaio de flexão e “FS” é o fator de segurança.

Pela equação (18) observa-se que a máxima tensão atuante na placa devido à ação de vento deve ser menor ou igual à tensão admissível, que é obtida aplicando-se um fator de segurança sobre o resultado do ensaio de flexão por quatro pontos.

5.4.3 - Definição dos esforços

Para definir os esforços atuantes na placa, conhecendo-se assim a máxima tensão atuante foi utilizado nesse trabalho o programa *Strap* que graças ao uso do método dos elementos finitos permite conhecer as tensões atuantes em todos os pontos da placa.

Para tanto, é preciso fornecer as ações de vento atuantes, a resistência à flexão nas duas direções, em caso de rochas anisotrópicas, as dimensões da placa e a sua vinculação. Caso seja necessário conhecer a deformabilidade da placa, deve-se introduzir o módulo de deformabilidade da rocha (E), nas duas direções

5.4.4 - Fator de segurança

Quanto ao fator de segurança podem ser utilizadas as diretrizes de várias referências: de acordo com a norma DIN 18516 Parte 3:1990 ele pode variar entre 2,5 e

3,5 dependendo do nível de confiança dos ensaios, para Lewis (1995) esse valor em granitos fica entre 2,5 e 4.

A norma da ABNT 13707:1996, atualmente em revisão (março/2005), indicará que o coeficiente de segurança deve variar entre 3 e 5, sendo esse valor determinado por responsabilidade do projetista.

5.4.5 - Exemplo de cálculo

A metodologia foi aplicada para cálculo da espessura do revestimento do edifício Centro Século XXI, situado na rua Emiliano Pernet, número 485, no centro da cidade de Curitiba, cujos dados são apresentados a seguir:

- Edifício comercial no centro de Curitiba.
- Altura estimada – 95m.
- Rocha – Granito Rosa Iracema com acabamento flameado.
- Valor médio do ensaio de resistência à flexão 4 pontos – 1356 N/cm^2 .
- Fator de segurança segundo NBR 13707 – 3.
- Dimensões da placa tipo (Figura 36)

Figura 36 – Dimensões da placa tipo (cm)

As ações na placa, devido ao esforço de vento, foram determinados de acordo com a NBR 6123 – 1988 e Sales *et al.* (1994), conforme descrito a seguir:

Velocidade básica do vento (v_0) = 45 m/s.

Velocidade característica do vento (v_k) = 44,7 m/s.

Pressão de obstrução (q) = 1227 N/m².

Coeficiente de pressão (c_{pe} médio) = -1,2 (segundo Sales *et al.* (op.cit.) para elementos de vedação deve-se usar os valores c_{pe} médio, que majoram as ações).

Pressão de vento atuante (Q) = 1472,4 N/m².

Portanto, o esforço atuante na placa é **$Q = 1472,4 \text{ N/m}^2$** .

Esse esforço juntamente com os dados referentes ao material da placa, altura, largura, condições e quantidades do apoio são parâmetros de entrada do programa *Strap* para o dimensionamento da espessura da placa de rocha.

A espessura da placa (e) foi definida quando a tensão máxima ($\sigma_{\max}$) atuante sobre ela igualou-se com a tensão admissível, equação (19):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ens}}{FS} = \frac{1356}{3} = 452 \text{ N / cm}^2 \quad (19)$$

Com este valor de tensão a espessura da placa obtida pelo programa *Strap* é 1,65cm. Na prática, adota-se o valor mais próximo das placas comercializadas que é 2cm.

5.4.6 - Deformabilidade

A deformabilidade excessiva das placas em fachadas, podem gerar desconforto na utilização do sistema. Sua determinação se dá através da curva tensão deformação obtidas através dos ensaios ASTM C1201:2003 e ASTM C 1352:1996(2002).

A norma DIN 18516-3:1990 estabelece que a deflexão resultante do peso-próprio da placa não deve exceder 1/500 do vão livre.

5.4.7 - Performance no ponto de apoio

Para a execução do ponto de apoio entre a rocha e o *insert* é utilizado o equipamento apresentado na figura 37, sendo na Figura 32 apresentadas sugestões quanto as dimensões deste ponto. Para o alojamento do *insert* na rocha é realizada a furação da placa (Figura 37).

(a)

(b)

Figura 37 – Execução do furo, onde se aloja o pino do *insert*. (a) Equipamento que garante a ortogonalidade e paralelismo do furo em relação à placa (b) detalhe do furo. Fonte: Catálogo da Granitos, Mármore e Metais – GMM.

A remoção de material da rocha causa uma diminuição da resistência nesse ponto, que quando não considerada no cálculo estrutural é o principal motivo das patologias nesse sistema de revestimento, conforme exemplos da Figura 38.

(a)

(b)

Figura 38 – Patologias no ponto de fixação entre o *insert* e a rocha.

Para avaliar este comportamento a norma ASTM C 1354:1996 apresenta um procedimento para determinação da resistência última de rochas fixadas por *inserts*.

Através do programa Strap é possível conhecer as tensões atuantes nesse ponto de fixação e compará-los com o resultado desses ensaios, permitindo assim uma correta avaliação da resistência nesse ponto.

5.5 - Dimensionamento do *insert*

As ações atuantes nos *inserts* são transmitidas através das placas de rocha e são oriundas das solicitações de vento e do peso próprio da placa. A Figura 39 mostra o valor dessas ações em função do peso próprio e do vento e o seu ponto de aplicação nos *inserts* metálicos. Nas ações originárias do vento ($Q.A/2$), deve-se analisar separadamente os esforços de flexão positivos e negativos e definir qual dessas é a crítica para os *inserts*.

Figura 39 – Esquema das ações atuantes nos *inserts*, onde “PP” é o peso próprio da placa, “Q” é a ação de vento uniformemente distribuída e “A” é a área da superfície da placa.

5.5.1 - Resistência

O cálculo estrutural das estruturas em aço não utiliza a resistência última do material (ruptura), como ocorre nas estruturas de madeira, concreto, rochas e outras.

Isso se deve ao fato que nos aços a partir de um ponto conhecido como limite de escoamento ocorrem deformações permanentes de grande magnitude indesejáveis no

projeto de estruturas em aços. Portanto o limite de escoamento do aço é o parâmetro utilizado no cálculo estrutural.

Conforme esquema da Figura 40, observa-se que nos três tipos de aços analisados a partir do ponto A o material não trabalha mais no regime elástico linear passando a sofrer deformações permanentes de grande monta.

Figura 40 – Esquema do comportamento tensão x deformação dos aços.

A Tabela 15 apresenta as principais propriedades mecânicas dos aços laminados austeníticos inoxidáveis produzidos no Brasil e utilizados na fabricação de *inserts*.

Tabela 15 – Propriedades dos aços inoxidáveis

Aços Inoxidáveis	Limite Resistência Mecânica (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)
304	700	300
304L	630	300
316	620	300
316L	620	300

Fonte: <http://www.acesita.com.br> (modificado)

5.5.2 - Dimensionamento

De maneira análoga ao dimensionamento das placas para o cálculo da seção dos *inserts* utiliza-se o critério das tensões admissíveis, conforme equação 20:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{adm} = \frac{f_y}{FS} \quad (20)$$

Onde “ $\sigma_{\text{máx}}$ ” é a máxima tensão atuante no *insert* devido a ação do vento e o peso próprio da placa; “ f_y ” é o limite de escoamento do material do *insert* e “FS” é o fator de segurança. Pela equação 6 observa-se que a seção do *insert* é definida quando o máximo esforço atuante se iguala com a tensão admissível dividido pelo coeficiente de segurança. A norma ABNT NBR 13707:2003, determina que o fator de segurança para o dimensionamento de *inserts* seja igual a 2,5.

Os esforços atuantes podem ser obtidos a partir do diagrama de esforços normais, cortantes e de momento fletor ou ainda através de programas específicos. Esses métodos não serão apresentados nessa dissertação, pois são bastante conhecidos no ramo da engenharia das estruturas metálicas.

5.6- Avaliação da performance global da estrutura

Para o dimensionamento desse sistema de revestimento, além do dimensionamento isolado de cada elemento constituinte, é necessário avaliar a performance global do sistema, da interface entre o *insert* e a edificação e entre o *insert* e a placa de rocha.

O comportamento global do sistema pode ser avaliado pela norma ASTM C 1201:1991, que traz um método para determinar a performance estrutural através de pressões uniformes estáticas. Ele é feito da seguinte maneira:

O sistema de revestimento é montado e é acoplada na placa uma câmara de teste que aplica pressões positivas e negativas em função das ações que se pretendam avaliar. Como resultado se obtém a curva tensão-deformação na placa de rocha e observar a existência de defeitos que venham a ocorrer no sistema.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de revestimento de fachadas por meio de *inserts* metálicos mostrou-se a forma mais rápida, segura e econômica de fixação da rocha, principalmente em edifícios altos. Dentre os diversos métodos de fixação empregados no Brasil, o desenvolvido na Alemanha, que utiliza a forma de pino como prolongamento do *insert*, é o que melhor preserva a resistência da rocha no ponto de fixação.

Para que este sistema tenha um desempenho satisfatório e durabilidade elevada, é necessária à correta especificação e seleção das rochas e dos *inserts*, com base nos agentes intempéricos atuantes no local da edificação, evitando diversas patologias que vem ocorrendo nos últimos anos.

Para a especificação dos *inserts* os aspectos de seleção e resistência à corrosão encontrados na literatura são suficientes para assegurar a integridade do material, o que não ocorre com as placas de rochas, necessitando de ensaios específicos que avaliem o seu comportamento em função do ambiente de exposição.

Para que o sistema resista as ações atuantes, como ações do vento, peso próprio da placas e variações térmicas, é necessária a realização do cálculo estrutural e a avaliação da performance estrutural do sistema, feito através de estudo que está intimamente ligado à segurança e a redução de custos.

Nesse sentido, o presente trabalho desenvolveu uma metodologia para o dimensionamento da espessura das placas e para seleção dos *inserts* e apresentou critérios de verificação da resistência no ponto de apoio entre a rocha e o *insert*. Mostrou que o

programa *Strap* é uma ferramenta poderosíssima, que auxilia no dimensionamento da placa e na avaliação da resistência no ponto de apoio.

O fator de segurança não considera aspectos importantes, tais como: a perda de resistência devido a alterabilidade, a dispersão dos resultados dos ensaios de flexão e a diferença de escala entre os corpos-de-prova e a placa utilizada.

Alguns aspectos das normas internacionais não são levados em consideração nas obras executadas no Brasil, como por exemplo: a espessura mínima das placas, a folga mínima entre o furo da rocha e pino do *insert*, a susceptibilidade da alteração.

Para o aprimoramento das técnicas de aplicação de rochas ornamentais para revestimento no Brasil é necessária a existência de órgãos e instituições que regulamentem o assentamento das placas de rocha e desenvolvam produtos e técnicas para esse fim. Citando como um exemplo bem sucedido no setor cerâmico a criação do CCB - Centro de Cerâmica do Brasil.

Finalizando, como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante abordar os seguintes assuntos: o desenvolvimento de uma metodologia para definição do fator de segurança a ser aplicado para rocha, intensificação dos estudos sobre a resistência da rocha no ponto de apoio e da alterabilidade das rochas na usadas na forma de placas..

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C. R., CARANASSIOS, A. CARAVALHO, D. (1996). Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi/Federação das Indústrias do Estado do Ceará.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Disponível em: <http://www.astm.org>. Acessado em: 23 de novembro de 2004.

_____. ASTM C 97 (2002): Norma para método de teste para absorção e peso específico de rochas ornamentais. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 99 (2000): Norma de método de teste para módulo de ruptura de rochas ornamentais. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 119 (2003): Norma de terminologia relacionada às rochas ornamentais. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 120 (2000): Norma para método de teste para resistência à flexão de ardósias. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 121 (1999): Norma para método de teste de absorção de água de ardósias. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 170 (1999): Norma para método de teste de resistência à corrosão de rochas ornamentais. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 217 (1999): Norma para método de teste para resistência ao intemperismo de ardósias. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 241 (1997): Norma para método de teste para resistência à abrasão de rochas submetidas ao tráfego de pedestres. Filadélfia, USA.

_____. ASTM D 2845 (2000): Norma para método de teste para determinação da velocidade de pulso e constante ultrassônica elástica de rochas. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 406 (2000): Norma de especificação de ardósias para cobertura. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 503 (2003): Norma para especificação de mármore (exterior). Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 568 (2003): Norma para especificação de rochas calcárias. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 615 (2003): Norma para especificação de granitos. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 616 (2003): Norma para especificação de quartzitos. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 629 (2003): Norma para especificação de ardósias. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 880 (1998): Norma para método de teste para resistência à flexão de rochas ornamentais. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1201 (1991): Normas para método de teste para performance estrutural de rochas ornamentais (uso externo). Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1242 (2004): Guia para seleção, projeto e instalação de rochas em fachadas por meio de inserts. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1352 (2004): Normas para método de teste para módulo de elasticidade na flexão. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1353 (1998): Norma para método de teste utilizando abrasão Taber de rochas ornamentais sujeitas a tráfego de pedestres. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1354 (2004): Norma para método de teste para resistência da rocha ornamental no ponto de ancoragem. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1496 (2001): Guia para manutenção de rochas ornamentais em fachadas. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1515 (2001): Guia para limpeza de rochas ornamentais de uso externo. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1526 (2003): Norma de especificação de serpentitos. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1527 (2003): Norma para especificação de travertinos. Filadélfia, USA.

_____. ASTM C 1528 (2002): Guia para seleção e rochas ornamentais para uso exterior. Filadélfia, USA.

_____. ASTM D3148 D3148-02 Norma para método de teste para determinação do módulo de elasticidade. Filadélfia, USA

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Disponível em: [http:// www.aenor.es](http://www.aenor.es). Acessado em 13 de março de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acessado em 12 de fevereiro de 2004.

_____. ABNT NBR 5601 (1981) – Aços inoxidáveis - Classificação por composição química. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6123 (1988) – Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 8800 (1986) – Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios.(Métodos dos estados limites). Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12042 (1992). Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12763 (1992): Determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12764 (1992): Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12765 (1992): Determinação da dilatação térmica linear. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12766 (1992): Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12767 (1992): Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12768 (1992): Análise Petrográfica. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12769 (1992): Ensaio de congelamento e degelo conjugado à resistência à compressão. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 13707 (1996): Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 13708 (1996): Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15012 (2003): Terminologia. Rio de Janeiro.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Disponível em: <http://www.afnor.fr>. Acessado em 15 de fevereiro de 2004.

BRITISH STANDARD INSTITUTE (BSI). Disponível em: bsonline.techindex.co.uk. Acessado em 15 de abril de 2004.

_____. BS 5385 - 1 e 3 (1995): Revestimento de paredes e pisos. Guia para projeto e instalação de rochas ornamentais, Londres.

_____. BS 8000-11.2 (1990) - Guia sobre mão-de-obra para revestimento de paredes e pisos com rochas naturais, Londres.

_____. BS 8221- 1 e 2 (2000) - Guia para limpeza de superfície de superfície de edifícios de rochas natural, terracota e concreto, Londres.

_____. BS 8298 (1994) - Guia para projeto e instalação de fachadas com rochas ornamentais, Londres.

CATALOGO DA GRANITOS MÁRMORES E METAIS – GMM

CATÁLOGO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO BRASIL (2004). Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/retegrochas/catalogo>. Acessado em 12 de fevereiro de 2005.

CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR (1999). São Paulo, Letras&Letras, 192p.

COMITÊ EUROPEU DE NORMATIZAÇÃO (CEN). Fonte: <http://www.cenorm.be>. Acessado em 20 de dezembro de 2003.

_____. EN 1341 (2001): Especificação para ladrilhos em pisos.Europa.

_____. EN 1467 (2003): Rocha natural - Bloco de rocha - Requisitos. Europa.

_____. EN 1468 (2003): Rocha natural - Chapas brutas - Requisitos. Europa.

_____. EN 1469 (2004): Produtos de rocha natural - Placas para revestimento - requisitos. Europa.

_____. EN 1925 (1999): Método de teste para rochas naturais - Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Europa.

_____. EN 1926 (1999): Métodos de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à compressão. Europa.

_____. EN 1936 (1999). Método de teste para rochas naturais - determinação da densidade real e aparente e da porosidade total e aberta. Europa.

_____. EN 12057 (2004). Produtos de rocha natural - Ladrilhos modulares – Requerimentos. Europa.

_____. EN 12058 (2004): Produtos de rocha natural - Placas para pisos e paredes - Requerimentos. Europa.

_____. EN 12370 (1999): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à cristalização de sais. Europa.

_____. EN 12371 (2001): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência ao congelamento. Europa.

_____. EN 12372 (2002): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à flexão sobre cargas concentradas. Europa.

_____. EN 12407 (2000): Método de teste para rochas naturais - Análise petrográfica. Europa.

_____. EN 12440 (2000): Rocha natural - Critérios de denominação. Europa.

_____. EN 12670 (2001): Rocha natural - Terminologia. Europa.

_____. EN 13161 (2002): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à flexão sobre momento constante. Europa.

_____. EN 13364 (2001): Método de teste para rochas naturais - *Determination of the breaking load at dowel hole*. Europa.

_____. EN 13373 (2003): Método de teste para rochas naturais - Determinação das características geométricas dos produtos de rochas natural. Europa.

_____. EN 13755 (2003): Método de teste para rochas naturais - Determinação da absorção de água sobre pressão atmosférica. Europa.

_____. EN 13919 (2002): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à ação de SO₂ na presença de umidade. Europa.

_____. EN 14066 (2003): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência a ação de choque térmico. Europa.

_____. EN 14146 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico. Europa.

_____. EN 14147 (2003): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à ação de névoa salina. Europa.

_____. EN 14157 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência à abrasão. Europa.

_____. EN 14158 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação da energia de ruptura. Europa.

_____. EN 14205 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação da dureza Knoop. Europa.

_____. EN 14231 (2003): Método de teste para rochas naturais - Determinação da resistência ao escorregamento pelo método do pêndulo. Europa.

_____. EN 14579 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação da velocidade de propagação de ondas. Europa.

_____. EN 14581 (2004): Método de teste para rochas naturais - Determinação do coeficiente de expansão térmica linear. Europa.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). Disponível em: <http://www.din.de>. Acessado em 15 de março de 2004.

_____. DIN 871-1 (1984): Placas; Placas de rocha natural; Requerimentos e testes. Berlin.

_____. DIN 18516-3 (1990): *Back-ventilated, non-loadbearing, external enclosures of buildings, made form natural stone: Design and installation*. Berlin.

_____. DIN 18540 (1995): Selantes para juntas em fachadas. Berlin

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE (UNI). Disponível em <http://www.uni.com>. Acessado em 12 de janeiro de 2004.

FERREIRA, L. S. O. (2005). Tecnologia para revestimento de fachadas com pedras naturais. In: Primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, 22p.

FLAIN, E. P. (1995). Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas. 180p. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRASCÁ, M. H. B. O. (2003). Rochas para revestimentos de edificações: variedades, seleção, usos e durabilidade. In: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. CETEM/MCT, Fortaleza, p. 332-341.

FRASCÁ, M. H. B. O. (2004). Rochas Ornamentais e para Revestimento: Variedades, Propriedades, Usos e Conservação. In: A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no estado de São Paulo – Capítulo 7.IPT. São Paulo, P.153-191.

FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. (1995). Seleção de pedras para revestimento e prioridades requeridas. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 124, p. 80-94.

FRAZÃO, E. B. FARJALLAT, J. E. S. (1996). Proposta de especificação para rochas silicáticas para revestimento. In: VII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, V.1, ABGE. p. 369-380.

GENTIL, V. (1970). Corrosão. Rio de Janeiro, Almeida Neves Editores, 254 p..

GIL, P. M. (1995). Técnicas de colocación. In: Manual de rocas Ornamentais. Prospección, explotación, colocación y elaboración. Lopez-Jimenez, C.(editor). Madrid, LOEMCO. P.583-618.

GONZALEZ-MESONEZ, F. L. (2005). La utilización de la piedra natural em la arquitectura em el marco de la nueva normativa Europea. In: Primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, 6p.

GONZALEZ-MESONES, F. L., VILLÁN, J. E. AGUIRRE, G. N. (2001). Manual para el uso de la piedra en la arquitectura. Vizcaya, Espanha, Informstone Technic & Business.

GUIA BRASILEIRO DO AÇO INOX (2003). São Paulo, NÚCLEO INOX.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage>. Acessado em 12 de janeiro de 2004

LEWIS, M.D. (1995). *Modern Stone Cladding: Design and Installation of Exterior Dimension Stone Systems*. ASTM. Filadélfia, USA, 136p..

LIMA, J. J. C. (2002). Estudo da dilatação térmica de rochas usadas em revestimento de edificações. 105p. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MARANHÃO, F. L. (2002). Patologias de revestimento com placas de rocha. 165p. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOREIRA, S. T. F., PARAGUASSÚ, A. B. RIBEIRO, R. P. (2005a). Dimensionamento de placas de rochas em fachadas de edifícios. In: Primeiro Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, 6p.

MOREIRA, S. T. F., PARAGUASSÚ, A. B. RIBEIRO, R. P. (2005b). Revestimentos de grandes edificações com rochas ornamentais. Enviado para: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis, 13p.

PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS. Disponível em: <http://www.acesita.com.br>. Acessado em 13 de janeiro de 2005.

QUITETE, E. B. (2002) – Dureza Knoop em rochas para revestimento: Metodologia e correlação com desgaste abrasivo. 70 p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica. Universidade São Paulo, São Paulo.

RIBEIRO, R. P.; PARAGUASSÚ, A. B.; RODRIGUES, J. E.; MOREIRA, S. T. F (2005). Ensaio não rotineiros para caracterização tecnológica de rochas ornamentais. Enviado para: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis, 13p.

RODRIGUES, E. P.; MORAES, M. C. (1978). Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos, como técnica auxiliar no estudo de rochas. In: 21º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 1977, Blumenau.

SÁLES, J.J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R.M. (1994). Ação do Vento nas Edificações. São Carlos. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 111p.

SÁLES, J.J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R.M. (1998). Sistemas Estruturais – Elementos Estruturais. São Carlos. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 161p.

STRAP- Structural Analysis Program. Versão 7.20.

UHLIG, H. (1970). Corrosion et protection. Versão traduzida do inglês para o francês por Jacques Voeltzel