

**ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM O EMPREGO DE MATERIAIS
POZOLÂNICOS**



VANESSA SILVEIRA SILVA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador : Prof.Dr.Jefferson B.L. Libório

São Carlos
1998

Class.	TESE-EESC
Cutt.	5376
	1031647
Tombo	0112199

311 000068 F3

S/S 1031647

S586a Silva, Vanessa Silveira
Argamassas de revestimento com o emprego de
materiais pozolânicos / Vanessa Silveira Silva. --
São Carlos, 1998.

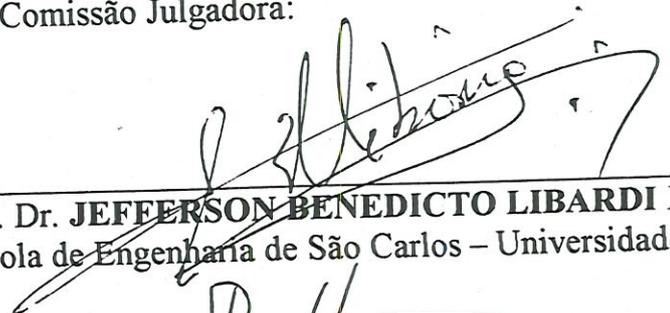
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Tecnologia do Ambiente Construído.
Orientador: Prof. Dr. Jefferson B. L. Libório.

1. Argamassa. 2. Cal. 3. Pozolanas. I. Título.

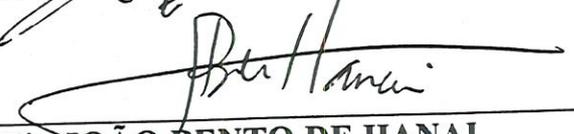
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira VANESSA SILVEIRA SILVA

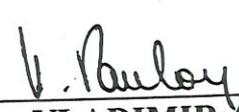
Dissertação defendida e aprovada em 11.11.98
pela Comissão Julgadora:



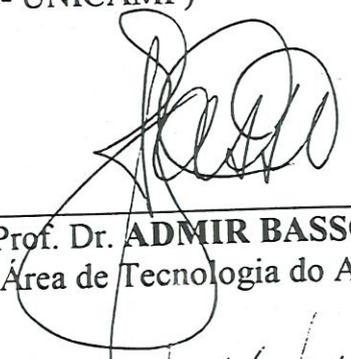
Prof. Dr. **JEFFERSON BENEDICTO LIBARDI LIBÓRIO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



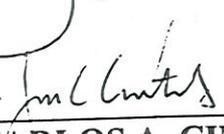
Prof. Tit. **JOÃO BENTO DE HANAI**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **VLADIMIR ANTONIO PAULON**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



Prof. Dr. **ADMIR BASSO**
Coordenador da Área de Tecnologia do Ambiente Construído



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

**"NUNCA SE ENTREGUE
NASÇA SEMPRE COM AS MANHÃS,
DEIXA A LUZ DO SOL BRILHAR NO CÉU
DO TEU OLHAR,
FÉ NA VIDA, FÉ NO HOMEM
FÉ NO QUE VIRÁ
NÓS PODEMOS TUDO, NÓS PODEMOS MAIS
VAMOS LÁ PRA VER O QUE SERÁ..."**

GONZAGUINHA

**AOS MEUS PAIS, COM TODO MEU
CARINHO...**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jefferson B.L.Libório, pelo apoio e competente orientação.

À Prof. Crislene pela orientação, embora não oficial, prestada na fase experimental deste trabalho.

Um agradecimento especial aos professores, engenheiros, técnicos e colegas dos laboratórios de solos I, II e III da Universidade Federal da Paraíba – Campus II, pela importante ajuda prestada na realização dos ensaios.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Arquitetura da Escola de Engenharia de São Carlos, que colaboraram para realização da pesquisa.

À ITAPESSOCA-PE e à HOLDECHIM – CIMINAS, pelo fornecimento de parte dos materiais utilizados na pesquisa.

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Marcelinho, pelo constante auxílio prestado desde o início.

À Luana, pela amizade, incentivo e sugestões que enriqueceram o conteúdo do trabalho, e ao Cristiano, pela colaboração em parte da pesquisa.

À todos os colegas e amigos da pós-graduação, em especial, Luciana Paraguassú, Luciana Calixto, David e André, com os quais compartilhei momentos importantes e que serão sempre lembrados.

Aos queridos amigos, Sílvia e Paulinho, muito obrigado pela amizade, convívio, paciência...

À minha família, pelo amor e apoio incondicionais.

Agradeço principalmente à Deus, a graça de concluir esta pesquisa.

SUMÁRIO

Lista de tabelas	i
Lista de figuras	iv
Introdução	1

CAPÍTULO 01

Argamassas de revestimento

1.1 - Conceituação e classificação	04
1.2 - Funções das argamassa de revestimento	07
1.3 - Materiais constituintes das argamassas	09
1.3.1 – Cimento	10
1.3.2 – Cal	12
1.3.3 – Areia	16
1.3.4 – Água	18
1.4 - Propriedades das argamassas de revestimento	
1.4.1- Argamassa no estado fresco	19
1.4.2- Argamassa no estado endurecido	29
1.5 - Patologias dos revestimentos	39
1.6 - Argamassas de revestimento com adições	44
1.7 - Produção e controle de qualidade dos revestimentos	
1.7.1 – Qualidade na construção civil	46
1.7.2 – Qualidade no projeto e na produção dos revestimentos	48

CAPÍTULO 02

Materiais Pozolânicos

2.1 - Histórico	56
2.2 - Conceituação e classificação dos materiais pozolânicos	64
2.3 - Atividade pozolânica	
2.3.1 – Definição	67
2.3.2 – Mecanismo da reação pozolânica	69
2.3.3 – Efeito das reações pozolânicas sobre a microestrutura das pastas de cimento	70
2.4 - Avaliação da qualidade dos materiais pozolânicos	72
2.5 - Pozolanas de argila calcinada	
2.5.1 – Generalidades	76
2.5.2 – Minerais argilosos	
2.5.2.1 – Definição e classificação	77
2.5.2.2 – Formação dos argilominerais e argilas	79
2.5.3 – Características químicas e físico-mecânicas das pozolanas de argila calcinada	80
2.5.4 – Ativação térmica das pozolanas de argila	84
2.5.5 – Produção das argilas calcinadas	86
2.6 - Escória de alto forno	
2.6.1 – Generalidades	87
2.6.2 – Composição física e química	90
2.6.3 – Produção das escórias de alto forno	92
2.7 - Cal pozolânica e o seu uso em argamassas	94
2.8 - Influência dos materiais pozolânicos nas propriedades das argamassas e concretos	100

CAPÍTULO 03

Desenvolvimento experimental

3.1 - Introdução	103
3.2 - Materiais e métodos	
3.2.1 – <i>Materiais</i>	104
3.2.2 – <i>Métodos</i>	
3.2.2.1 – <i>Ensaaios de caracterização</i>	105
3.2.2.2 – <i>Ensaaios tecnológicos</i>	107
3.3 - Resultados e discussões	
3.3.1 – <i>Ensaaios de caracterização</i>	111
3.3.2 – <i>Ensaaios tecnológicos</i>	118

CAPÍTULO 04

Análise dos resultados

4.1 - Argamassas produzidas com traço em massa de 1:3	124
4.2 - Argamassas produzidas com traço em volume de 1:2:9 e 1:1:6	
4.2.1 – <i>Propriedades das argamassas</i>	132
4.2.2 – <i>Comparação dos resultados</i>	142

CAPÍTULO 05

Conclusões e sugestões para o prosseguimento da pesquisa

5.1 - Conclusões	144
5.2 - Sugestões para prosseguimento da pesquisa	148

ANEXO

Determinações físicas das cales hidratadas do Nordeste	150
---------------------------------------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

Referências Bibliográficas	151
Bibliografia complementar	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Revestimentos de argamassas inorgânicas	05
Tabela 02 – Argamassas inorgânicas de revestimento – Classificação	06
Tabela 03 - Função do revestimento versus propriedades do conjunto argamassa+base	09
Tabela 04 – Tipos de cimentos Portland e as respectivas normas	10
Tabela 05 - Influência das características das areias nas propriedades das argamassas	17
Tabela 06 - Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa	42
Tabela 07 - Principais problemas nas construtoras	48
Tabela 08 - Caracterização física e química de pozolanas	68
Tabela 09 - Análise química de argilas para pozolanas	81
Tabela 10 - Características físico-mecânicas de algumas pozolanas de argilas brasileiras	84
Tabela 11 – Composição química de escórias brasileiras	91
Tabela 12 – Traços para argamassas alternativas, em volume, equivalentes aos traços de argamassas convencionais.	98

Tabela 13 – Resistência à compressão simples de diversos traços de argamassas.	99
Tabela 14 – Resistência à compressão simples das cales pozolânicas aos 7, 28 e 60 dias	99
Tabela 15 – Composição dos traços-argamassas com pozolana de argila calcinada e argamassas com escória de alto forno	107
Tabela 16 – Composição dos traços-argamassas com pozolanas	108
Tabela 17 – Composição dos traços-argamassa convencional	108
Tabela 18 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples das argamassas com escória de alto forno	109
Tabela 19 – Métodos de ensaio no estado fresco	110
Tabela 20 – Métodos de ensaio no estado endurecido	111
Tabela 21 – Caracterização física da amostra da cal hidratada	111
Tabela 22 – Composição química da cal hidratada	112
Tabela 23 – Caracterização física da pozolana de argila calcinada	112
Tabela 24 – Composição química da pozolana de argila calcinada	113
Tabela 25 – Caracterização física da escória de alto forno	114
Tabela 26 – Composição química da escória de alto forno	114
Tabela 27 – Composição química do cimento	116
Tabela 28 – Ensaio físicos do cimento	116
Tabela 29 – Resultados dos ensaios nas argamassas com argila calcinada – estado fresco	118
Tabela 30 – Resultados dos ensaios nas argamassas com escória de alto forno – estado fresco	118

Tabela 31 - Resultados dos ensaios nas argamassas com pozolanas de argila calcinada - estado endurecido	119
Tabela 32 - Resultados dos ensaios nas argamassas com escória de alto forno – estado endurecido	119
Tabela 33 – Resultados dos ensaios nas argamassa com pozolana de argila calcinada-estado fresco	121
Tabela 34 – Resultados dos ensaios nas argamassa com escória de alto forno-estado fresco	121
Tabela 35 – Resultados dos ensaios nas argamassa convencionais-estado fresco	121
Tabela 36 – Resultados dos ensaios nas argamassa com pozolana de argila calcinada-estado endurecido	122
Tabela 37 – Resultados dos ensaios nas argamassa com escória de alto forno-estado endurecido	122
Tabela 38 – Resultados dos ensaios nas argamassas convencionais-estado endurecido	122
Tabela 39 – Módulo de deformação das argamassas	141
Tabela 40 –Comparação dos resultados	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Variação da retenção de água de argamassa de cimento Portland e cal, conforme o aumento da relação agregado úmido/aglomerante	26
Figura 02- Variação da retenção de água de argamassas de cimento Portland e cal, conforme as relações cal/cimento e agregado úmido/aglomerante	26
Figuras 03- Razões para implantação de sistemas de qualidade	47
Figura 04- Desvantagens do sistema da qualidade	47
Figura 05 -Fluxograma das diferentes etapas de execução de um revestimento	52
Figura 06- Classificação dos materiais pozolânicos	66
Figura 07- Evolução dos valores de atividade pozolânica e da água de amassamento de uma pozolana de argila calcinada em função de sua finura	82
Figura 08 –Esquema de produção das escórias de alto forno	93
Figura 09 – Curva granulométrica e características físicas da areia	117
Figura 10 – Retenção de água em função do teor de cimento	125
Figura 11 – Teor de ar incorporado em função do teor de cimento	126

Figura 12 – Resistência à compressão em função do teor de cimento	127
Figura 13 – Resistência à tração em função do teor de cimento	127
Figura 14 – Resistência de aderência à tração em função do teor de cimento	128
Figura 15 – Resistência à compressão em função dos teores de cal e escória	129
Figura 16 – Relação água/aglomerante em função dos teores de cal e escória	130
Figura 17 – Resistência à compressão em função do teor de cimento	131
Figura 18 – Relação água/aglomerante em função dos traços utilizados	133
Figura 19 - Retenção de água em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)	134
Figura 20 - Teor de ar incorporado em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)	135
Figura 21 – Resistência à tração em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)	136
Figura 22 – Resistência à compressão em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)	137
Figura 23 – Resistência de aderência à tração em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)	138
Figura 24 - Correlação entre módulo tangente e resistência à compressão para argamassas inorgânicas	140

RESUMO

SILVA, V.S. (1998). *Argamassas de revestimento com o emprego de materiais pozolânicos*. São Carlos, 1998. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

As cales pozolânicas, provenientes da mistura entre cal hidratada e pozolanas, apresentam-se como uma alternativa de aglomerante tecnicamente viável e promissora. No entanto, estes aglomerantes ainda são produzidos em escala desprezível, havendo necessidade de pesquisas para difundir o seu uso.

Portanto, o que se propõe neste trabalho é verificar o comportamento de argamassas de revestimento confeccionadas com estas cales pozolânicas, através da avaliação experimental de algumas propriedades no estado fresco e endurecido. Desta forma, procurou-se sistematizar os assuntos mais importantes que pudessem contribuir para um maior conhecimento sobre as argamassas de revestimento e os materiais pozolânicos, de modo a se obter o necessário embasamento teórico para execução da parte experimental das pesquisas.

Os resultados obtidos indicam a potencialidade das cales pozolânicas como aglomerante e, de uma forma geral, constata-se que os materiais pozolânicos estudados não provocam alterações desfavoráveis nas argamassas quanto às propriedades avaliadas

Palavras-chave: argamassa; cal; pozolanas.

ABSTRACT

SILVA, V.S. (1998). *Argamassas de revestimento com o emprego de materiais pozzolânicos*. São Carlos, 1998. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The lime pozzolana cements, deriving from the mixture of hydrated lime and pozzolana, has showed to be a technically possible and promising alternative of agglomerants. However, these agglomerants are still produced at mean scale, so investigations are necessary to spread their use.

Thus, the aim of this study is to examine the conduct of rendering mortars made by lime pozzolana cements, through the evaluation of some properties in fresh and hardened states. Thus, the most important topics of rendering mortars and pozzolanic materials, were systematize, so that they could not only contribute to a better knowledge of rendering mortars and pozzolanic materials as well as make possible the obtaining of the necessary theoretical base to perform the experiments of researches.

The results obtained showed the potentiality of such pozzolanic lime as agglomerants and, in a general way, the pozzolanic materials examined did not change unfavourably the properties evaluated.

Keywords: mortar; lime; pozzolans

INTRODUÇÃO

Apesar das recentes inovações tecnológicas, as argamassas de revestimento ainda apresentam vários problemas técnicos e estéticos. Assim, o emprego de materiais alternativos, como a cal pozolânica, é de fundamental importância na tentativa de melhorar a qualidade dos revestimentos de argamassas.

No entanto, como os estudos feitos até hoje sobre as cales pozolânicas são insuficientes, fez-se necessário estudar com mais detalhes este aglomerante, para que possa vir a ser utilizado com vantagens na produção de argamassas.

Entre os tipos de pozolanas que podem ser adicionados às argamassas de cal, destacam-se as pozolanas de argila calcinada e escórias de alto forno.

As *argilas*, por serem materiais encontrados em quase todas as regiões do Brasil, podem ser considerados como uma das melhores opções para utilização como pozolanas. Além disso, os estudos tecnológicos desenvolvidos no campo da cerâmica e na fabricação de pozolanas para uso em obras de grande porte contribuem para difundir o uso destes materiais. Embora economicamente, as argilas possam ter o seu uso limitado, por necessitarem de energia térmica para serem utilizadas como pozolanas.

Quanto ao uso da *escória de alto forno*, esta ajuda a preservar o meio ambiente, através do aproveitamento de rejeitos industriais poluidores, evitando que fiquem acumulados nas siderúrgicas, sem destinação, podendo assim, se constituir numa área de pesquisa promissora para uso como pozolanas.

Dentro deste contexto justifica-se o desenvolvimento desta pesquisa, cujos objetivos são:

Objetivo geral:

- Difundir o uso de materiais pozolânicos em argamassas de revestimento

Objetivos específicos:

- Sistematizar os aspectos mais importantes sobre as argamassas de revestimento e os materiais pozolânicos
- avaliar experimentalmente argamassas produzidas com materiais pozolânicos

Portanto, o trabalho em questão se desenvolveu a partir de uma intensa pesquisa bibliográfica sobre argamassas de revestimento e sobre as características dos materiais pozolânicos, mais especificamente das pozolanas de argilas calcinadas e escórias de alto forno, desta forma adquirindo embasamento teórico para posterior realização da etapa experimental.

Assim, nos capítulos um e dois constam toda a revisão bibliográfica, onde são abordados os seguintes itens:

Capítulo 1- Argamassas de revestimento: É feita uma revisão bibliográfica sobre argamassas de revestimento, onde são apresentadas as suas funções, materiais constituintes, propriedades fundamentais e patologias mais frequentes. Neste mesmo capítulo, são abordados alguns aspectos relacionados com o material

(argamassa) e a sua produção, e sobre o uso de materiais alternativos em argamassas.

Capítulo 2 - Materiais Pozolânicos: Está presente neste capítulo, além das definições básicas para um conhecimento dos materiais pozolânicos, os aspectos relacionados às características físicas e químicas, propriedades e processo de produção dos dois tipos de pozolanas estudados, a pozolana de argila calcinada e escória de alto forno.

Quanto à etapa experimental, que consta nos capítulos três e quatro, procurou-se caracterizar as argamassas com emprego de pozolanas, para a partir do conhecimento de algumas de suas propriedades, ser feita uma análise comparativa entre as argamassas de revestimento estudadas, verificando a influência dos materiais pozolânicos nas propriedades das mesmas.

Capítulo 3 - Desenvolvimento experimental: descrição da metodologia e dos materiais empregados nos experimentos, e apresentação e discussão dos resultados obtidos.

Capítulo 4 - Análise dos resultados: avaliação dos resultados mais significativos, e apresentação de gráficos com as análises relativas a cada um deles. Os resultados são também comparados à literatura consultada.

Capítulo 5 - Conclusões e sugestões para prosseguimento da pesquisa: A partir da análise de todas as informações obtidas, tanto no levantamento bibliográfico como no trabalho experimental, são apresentadas as considerações finais e propostas para dar continuidade a pesquisa.

Capítulo 01

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

1.1 - CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

De acordo com MEDEIROS & SABBATINI (1994), os revestimentos de argamassa completam o sistema de vedações das edificações, e a obtenção de um desempenho adequado destes revestimentos deve ser baseada no correto conhecimento de suas funções e propriedades, e ainda do conhecimento das argamassas que os constituem e dos substratos que lhes servem de base.

Os revestimentos de argamassa são definidos pela NBR 13529 (1995) como “cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final”. Estes revestimentos podem ser classificados conforme a tabela 01.

Quanto às argamassas, a NBR 7200/82 as define como: “Mistura de aglomerantes e agregados minerais com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência”.

As argamassas podem ser classificadas quanto à natureza do aglomerante, tipo de aglomerante, número de aglomerante,

propriedades específicas, função do revestimento e forma de preparo ou fornecimento, conforme tabela 02.

Tabela 01 – Revestimentos de argamassas inorgânicas (NBR – 13530/95)

Tipo	Critério de classificação
Revestimento de camada única	Número de camadas Aplicadas
Revestimento de duas camadas	
Revestimento em contato com o solo	Ambiente de Exposição
Revestimento externo	
Revestimento interno	
Revestimento comum	Comportamento à umidade
Revestimento hidrófugo	
Revestimento de Permeabilidade reduzida	
Revestimento de proteção radiológica	Comportamento a radiações
Revestimento termoisolante	Comportamento ao calor
Camurçado	Acabamento de superfície
Chapiscado	
Desempenado	
Sarrafeado	
Imitação travertino	
Lavado	
Raspado	

Tabela 02 – Argamassas inorgânicas de revestimento

Classificação (NBR-13530/95)

Tipo	Critério de avaliação
Argamassa aérea	Natureza do aglomerante
Argamassa hidráulica	
Argamassa de cal	Tipo de aglomerante
Argamassa de cimento	
Argamassa de cimento e cal	
Argamassa simples	Número de aglomerante
Argamassa mista	
Argamassa aditivada	Propriedades específicas
Argamassa colante	
Argamassa de aderência melhorada	
Argamassa hidrófuga	
Argamassa de proteção radiológica	
Argamassa redutora de permeabilidade	
Argamassa termoisolante	Função do revestimento
Argamassa de chapisco	
Argamassa de reboco	
Argamassa de emboço	Forma de preparo ou fornecimento
Argamassa dosada em central	
Argamassa preparada em obra	
Argamassa industrializada	
Mistura semipronta para argamassa	

1.2 - FUNÇÕES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

As argamassas, por apresentarem diferentes propriedades e características, apresentam funções diferentes a desempenhar de acordo com a finalidade a que se destina.

Desta forma, ao se estudar as argamassas de revestimento, deve-se conhecer as funções que os revestimentos desempenham nos elementos que compõem o edifício, quer sejam eles relativos ao espaço externo ou interno.

Além da função estética, que decorre das características de qualidade e durabilidade do revestimento, as argamassas de revestimento devem atender às exigências de segurança e habitabilidade da edificação. De acordo com estas exigências, CINCOTTO et al. (1995) afirmam que o revestimento deve apresentar estabilidade mecânica e dimensional e resistência ao fogo.

Para CINCOTTO & UEMOTO (1986), os revestimentos devem ainda contribuir para o conforto higrotérmico e acústico do ambiente. Neste sentido, quando o revestimento é rico em cimento, reflete os sons melhorando a isolamento sonora entre os ambientes externo e interno e quando poroso, absorve os sons diminuindo o tempo de reverberação nos recintos. As propriedades térmicas da parede também podem ser melhoradas, por porosidade interna e/ou por efeito da massa do revestimento.

SABBATINI et al. (1988)¹ apud MACIEL (1997) citam importantes funções dos revestimentos de argamassa de fachada, válidas também para outros locais de aplicação como paredes internas e tetos:

- ◆ proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos;
- ◆ auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções como, por exemplo, o isolamento termo-acústico e a estanqueidade à água e aos gases.
- ◆ regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos;
- ◆ constituir-se no acabamento final ou como base para outros tipos de revestimento.

Na tabela 03 pode-se observar a relação entre as propriedades da argamassa e da base com as funções que os revestimentos devem apresentar.

¹ SABBATINI, F.H. et al. (1988). *Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos*. São Paulo, EPUSP-PCC. (Convênio EPUSP/ENCOL, projeto EP/EN-01, documento 1.F).

Tabela 03 - Função do revestimento versus propriedades do conjunto argamassa+base (CINCOTTO et al., 1995)

Requisitos básicos	Propriedades ou características da argamassa e da base imediatamente relacionados
Segurança	Resistência mecânica (resistência à tração e compressão, resistência ao desgaste superficial-abrasão; resistência ao impacto; resistência ao fogo)
Habitabilidade	Estanqueidade à água; isolamento térmico e isolante acústico
Compatibilidade com a base	Consistência; plasticidade; trabalhabilidade; Aderência; permeabilidade; índice de sucção
Compatibilidade entre os materiais	Durabilidade

1.3 - MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

Entre os problemas patológicos observados nos revestimentos, muitos são provenientes do desconhecimento dos materiais utilizados na produção das argamassas, uma vez que, ao alterar-se os materiais constituintes das mesmas, o seu comportamento pode variar substancialmente. Da mesma forma, salienta-se a importância da compatibilidade entre os materiais constituintes das argamassas de revestimento, e entre estes e a base, de modo que não ocorram reações que possam prejudicar o desempenho dos revestimentos.

Assim, justifica-se a necessidade de avaliar-se a influência que cada material (cimento, cal, areia e água) exerce nas propriedades e conseqüentemente no desempenho das argamassas.

1.3.1 – CIMENTO PORTLAND

No Brasil, existem vários tipos de cimentos para uso geral, e outros, que são particularmente indicados para usos específicos. Cabe ressaltar que, deve-se sempre utilizar cimentos que atendam às especificações das normas vigentes no país, conforme tabela 04.

A NBR 11578 (1991) fixa determinados requisitos que devem ser verificados no cimento Portland, como finura, tempo de início de pega, tempo de fim de pega, resistência à compressão e expansibilidade a quente.

Tabela 04 – Tipos de cimentos Portland e as respectivas normas (METHA,1994)

Denominação	Sigla	Normas
Portland Comum	CP I	NBR - 5732
Portland Comum com Adição	CPI-S	
Portland Composto com Escória	CP II-E	NBR - 11578
Portland Composto com Pozolana	CP II-Z	
Portland Composto com Filler	CP II-F	
Portland de Alto Forno	CP III	NBR - 5735
Portland Pozolânico	CP IV	NBR - 5736
Portland de Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	NBR - 5733
Portland Resistente a Sulfatos	CP I RS; CP I-S RS; CP II-E RS; CPII-Z RS; CP II-F RS; CP III RS; CP IV RS	NBR - 5737

LARA et al. (1995) ressaltam que a contribuição do cimento nas argamassas está voltada para a resistência mecânica, no entanto, quanto mais rica em cimento for a mistura da argamassa mais elevada será a retração e conseqüentemente maior a tendência à fissuração.

De acordo com CARASEK (1996), as argamassas com elevado teor de cimento em geral apresentam elevada resistência de aderência, mas possuem baixa extensão de aderência e também são menos duráveis, uma vez que são mais passíveis de desenvolver fissuras.

Ainda com relação a aderência, CARASEK (1996) afirma que o tipo e as características físicas do cimento podem influenciar na resistência de aderência, mas que são poucos os estudos que quantificam esta influência.

LARA et al. (1995) salientam que uma superfície específica maior que $400\text{m}^2/\text{kg}$ e tempo de pega maior que 2h são características desejáveis no cimento. Quanto à finura do cimento, esta regula os níveis de retração por secagem.

BOLORINO & CINCOTTO (1997) desenvolveram um estudo com cinco tipos diferentes de cimento empregados na produção de argamassas mistas de cimento, cal e areia, na proporção 1:1:6, para a execução de revestimentos de camada única. A partir dos resultados obtidos, estes autores afirmam que o tipo de cimento não altera, de forma significativa, as propriedades da argamassa no estado fresco, já no estado endurecido, existe uma certa influência do tipo do cimento nas propriedades do revestimento, como na resistência mecânica e na aderência.

MACIEL (1997) ressalta que a escolha do cimento para a produção da argamassa do revestimento, no caso específico de fachada, deve ser feita a partir de um estudo sobre as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos de cimento, levando-se em consideração suas características e as exigências de desempenho a serem atendidas, além do custo e disponibilidade desse material.

1.3.2 - CAL

Segundo a NBR-7175 (1992), a cal hidratada é definida como um pó seco obtido pela hidratação de cal virgem, formada essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A cal hidratada atua como aglomerante em argamassas, através da carbonatação dos hidróxidos, pela ação do anidrido carbônico do ar. Devido a propriedade que a partícula de cal tem de reter, em sua volta, uma película de água, ela permite uma maior retenção de água das argamassas com cal.

Conforme MACIEL (1997), a escolha do tipo e marca da cal deve ser feita com base em um estudo das características desse material e das propriedades obtidas através do seu emprego. Deve-se sempre utilizar cales que atendam as análises prescritas pela ABNT.

A NBR-7175(1992) classifica as cales em três tipos CHI, CHII e CHIII. A cal do tipo CHI é a de melhor qualidade, apresentando um maior teor de óxidos totais presentes, sendo mais reativa que as demais. Com isso, a retenção de água e a trabalhabilidade são melhoradas. A cal CHII é a cal hidratada comum e cal CHIII é a cal hidratada

comum com carbonatos. É importante que o fabricante informe a qual classe da ABNT a cal pertence.

Em função do teor de óxidos de cálcio presente, a cal pode ser cálcica, dolomítica ou magnesiana. Para SABBATINI (1984), quando há a completa hidratação dos óxidos de magnésio, as cales dolomíticas ou magnesianas influenciam positivamente a trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações das argamassas. Por sua vez, SIQUEIRA et al. (1995) dizem que os revestimentos de argamassa com cal magnesiana apresentam menor aderência no substrato.

De acordo com a norma NBR 7175 (1992), além do teor de óxidos, existem outros requisitos a serem verificados na cal hidratada, como a finura, a estabilidade, a plasticidade, a retenção de água e o índice de incorporação de areia.

SABBATINI (1984) recomenda que a cal hidratada não seja misturada em pó aos outros materiais constituintes da argamassa, pois se isto ocorrer, o potencial da cal em favorecer a trabalhabilidade, a retenção de água da argamassa e a capacidade de absorver deformações do revestimento pode ficar reduzido.

De acordo com projeto de norma 02:102.17-002 (ABNT,1997), as argamassas de cal devem ser deixadas em maturação por 16 horas, no mínimo. RAGO & CINCOTTO (1995) afirmam que a maturação da cal permite um menor consumo de água, para a mesma viscosidade, quando a pasta é deixada em repouso por 24 horas. No entanto, mesmo não sendo recomendável, o emprego da cal em pó na produção da argamassa é uma prática comum nas obras de construção de edifícios.

A adição de cal nas argamassas melhora as propriedades no estado fresco (retenção e trabalhabilidade) sem comprometer as propriedades mecânicas (resistência à compressão e aderência).

Este fato foi comprovado por CARVALHO JR et al. (1995), que ao fazerem um estudo comparativo entre argamassas de cimento e argamassas mistas de cimento e cal, chegaram à conclusão de que as argamassas de cimento e cal apresentam maior trabalhabilidade e retenção de água, e ainda um desempenho satisfatório, apesar das argamassas de cimento apresentarem melhor resistência e aderência.

Para estes autores os baixos valores de retenção de água encontrados nas argamassas de cimento estudadas sugerem o uso de aditivos específicos ou sua substituição por argamassa de cimento-cal.

No trabalho desenvolvido por RAGO & CINCOTTO (1995) sobre a reologia das pastas de cimento, cimento e cal e cal, foi observado que a substituição gradativa do cimento pela cal, mantendo-se a mesma relação água/aglomerante, permite uma maior coesão entre as partículas sólidas devido ao uso da cal na pasta, melhorando assim a plasticidade da argamassa.

CARASEK (1996) também confirma as vantagens do uso da cal, ao observar que as argamassas que contêm este aglomerante apresentam importantes propriedades plastificantes e de retenção de água, e ainda possuem alta extensão de aderência e baixa incidência de fissuras, que favorecem a durabilidade do revestimento.

Segundo LARA et al. (1995), para os traços até 1:4, em volume, a cal pode ser empregada isoladamente sem prejudicar o desempenho e durabilidade dos revestimentos. Para as argamassas mais pobres em

aglomerantes, o emprego da cal melhora as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

De acordo com SABBATINI (1984), a argamassa que emprega somente a cal como aglomerante apresenta as propriedades de trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações otimizadas. No entanto, para essas mesmas argamassas as resistências mecânica e de aderência são baixas.

Conforme GUIMARÃES (1984), as partículas da cal têm a capacidade de aumentar a dificuldade de caminhamento da água pelos seus vazios, o que implica em uma maior resistência à penetração da água.

LARA et al. (1995) em seus experimentos, observaram que a cal ao reter água nos interstícios de sua microestrutura ainda permite o fornecimento de água para hidratação do cimento. Desta forma, contribui para um melhor aproveitamento do cimento que, sem a cal, é apenas parcialmente hidratado, devido a rápida evaporação da água de amassamento dos revestimentos.

Diante do que foi colocado sobre o uso da cal e também sobre o uso do cimento no item 1.3.1 pode-se concluir que as argamassas mais adequadas são aquelas que apresentam a qualidade dos dois materiais, ou seja, as argamassas mistas de cimento e cal. Estas argamassas são adequadas para produção de revestimentos, uma vez que apresentam maior trabalhabilidade e retenção de água, e quanto às resistências mecânicas e de aderência, mesmo menores que as das argamassa de cimento, são satisfatórios.

1.3.3 - AREIA

A areia tem importância na qualidade de argamassa, assim, o agregado a ser utilizado deve permitir que a argamassa atenda às exigências de trabalhabilidade, produtividade, textura, acabamento e adequação à decoração final e ao uso.

BAUER et al. (1997) concluem, com base nos seus estudos, que é fundamental a definição de critérios de recebimento dos agregados para argamassa, principalmente quando existe variação dos materiais ao longo do tempo. Estes critérios devem ser avaliados de tal forma, que representem exatamente as condições reais de uso destes materiais.

A granulometria do agregado influencia na dosagem do aglomerante e na quantidade de água da mistura. Desta forma, quando há deficiências na granulometria ou excesso de finos, ocorre um maior consumo de água de amassamento, reduzindo as propriedades mecânicas e causando maior retração por secagem.

As faixas granulométricas de emprego das areias para cada fim estão na faixa I, II e III da ABNT (NBR-7211/1983). Em certos casos, pode-se combinar areias de granulometrias diferentes, por exemplo fina e média, para se alcançar o resultado final esperado.

TRISTÃO & ROMAN (1995) desenvolveram um estudo para avaliar a influência da composição granulométrica do agregado nas diferentes propriedades das argamassas e, conforme os resultados obtidos, as argamassas que apresentaram as maiores resistências mecânicas

foram as produzidas com a areia classificada como desuniforme e bem graduada².

Estes autores também constataram que, desde que a areia se adapte à textura da argamassa desejada, as areias com granulometria desuniforme apresentam melhores resultados do que as de uniformidade média que por sua vez apresentam resultados melhores do que as uniformes.

A tabela 05 mostra a influência do módulo de finura, granulometria e forma dos grãos da areia, na variação das propriedades das argamassas.

Tabela 05 - Influência das características das areias nas propriedades das argamassas (SABBATINI, 1984)

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor for o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Resistência de aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência Mecânica	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Obs: **Variável** - quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

Granulometria descontínua - Composta apenas de grãos finos e grossos e desprovidos dos médios.

² A areia foi classificada conforme a curva granulométrica, a partir de dois parâmetros: diâmetro efetivo e o coeficiente de uniformidade.

De acordo com a NBR-7200 (1982), na confecção de qualquer tipo de argamassa, devem ser usados como agregados a areia natural lavada, termo-tratada ou artificial, de granulometria controlada.

As areias provenientes de rio (lavadas) são geralmente utilizadas para produção de argamassas, pois em geral são sãs, exceção feita, àquelas extraídas de leitos de correntes de água que funcionam como esgoto sanitário ou de dejetos industriais.

CINCOTTO (1983) observa que alguns fenômenos patológicos podem ser causados pela presença de certas impurezas nos agregados, tais como: aglomerados argilosos, piritita, mica, concreções ferruginosas e matéria orgânica.

1.3.4 - ÁGUA

De acordo com a RILEM (1982), a água é o meio direto que o pedreiro dispõe para regular a consistência, fazendo a sua adição em teor adequado até a obtenção da trabalhabilidade desejada.

Na NBR-7200(1982) consta que todas as águas naturais podem ser utilizadas como águas de amassamento, desde que não apresentem impurezas que atuem tanto a curto como a longo prazo.

As águas potáveis são indicadas para elaboração de produtos à base de cimento Portland, contudo, ensaios de qualidade da água podem permitir o emprego de água não potável se a argamassa, aos 28 dias, apresentar 90% da resistência à compressão da argamassa produzida com água de boa qualidade.

1.4 - PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

1.4.1 - ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Trabalhabilidade

A trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa, que resulta da associação com outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção e exsudação da água, coesão interna, tixotropia, adesão, massa volumétrica, etc.

A consistência e a plasticidade, de acordo com a RILEM (1982), são as principais propriedades que determinam a trabalhabilidade e em consequência, o termo trabalhabilidade é geralmente usado como sinônimo destas propriedades.

A RILEM (1982) conclui que “compete ao pedreiro definir a quantidade de água de amassamento a ser adicionada numa argamassa, a fim de obter uma trabalhabilidade desejável, pois ele inicialmente ajusta a consistência da argamassa com água para depois fazer o julgamento da sua plasticidade”.

Para SELMO (1989) uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando permite a penetração de uma colher de pedreiro, mantendo-se coesa (sem aderir à colher) ao ser transportada para a desempenadeira, e quando lançada à base, permanece úmida o suficiente para ser espalhada, sarrafeada; devendo, ainda, estar em boas condições para receber o tratamento superficial previsto.

Portanto, a trabalhabilidade, de acordo com estes autores, é uma propriedade que depende do julgamento subjetivo do operário que aplica a argamassa.

Por isto, ao se avaliar a trabalhabilidade em laboratório deve-se levar em conta, entre os parâmetros considerados, o manuseio e aplicação por parte dos operários.

Alguns estudos em laboratório fixam a trabalhabilidade expressa na forma do índice de consistência, determinado na mesa de consistência.

No entanto, CAVANI et al. (1997) ao questionarem esta fixação da trabalhabilidade pelo índice de consistência padrão, desenvolveram uma escala empírica de trabalhabilidade que, segundo estes autores, é mais adequada do que a fixação de um único índice de consistência. Nesta escala, a trabalhabilidade é classificada entre “-2” e “3”, onde o índice “-2” significa que a argamassa é muito seca e o índice “3” indica que a argamassa é excessivamente fluida. O índice aumenta com o aumento da quantidade de água na argamassa.

As argamassas com boa trabalhabilidade permitem uma fácil aplicação nos substratos e maior contato entre bloco e argamassa, aumentando a extensão de aderência e influenciando positivamente em suas propriedades no estado endurecido.

As características dos agregados e aglomerantes podem interferir na trabalhabilidade das argamassas. Com relação aos agregados, CINCOTTO et al. (1995) descrevem que quanto menor o módulo de finura do agregado e o teor de grãos angulosos, mantendo-se a continuidade da granulometria, melhor será a trabalhabilidade.

Ainda sobre agregados, SELMO (1989) ressalta que os finos de natureza siltosa ou argilosa aumentam a trabalhabilidade, mas que no entanto, devem ser controlados, visto que podem interferir na resistência mecânica do revestimento e aumentar a retração por secagem.

Com relação ao aglomerante, CINCOTTO et al. (1995) afirmam que a cal melhora a trabalhabilidade das argamassas e quanto ao cimento, aqueles que possuem maior finura podem resultar em argamassas com maior trabalhabilidade.

Da mesma forma JOISEL apud SELMO³ (1989) observa que à medida que os aglomerantes apresentam maior finura, mais contribuem para a trabalhabilidade, agindo como lubrificantes sólidos entre os grãos do agregado.

Consistência

Conforme relata CINCOTTO et al. (1995), “a consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, a manutenção da consistência com o tempo, diz respeito à capacidade da argamassa manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação”.

A consistência da argamassa pode ser classificada em: seca, plástica ou fluida. SELMO (1989) indica que nas argamassas que apresentam consistência de plástica a fluida, pode-se manifestar a exudação de água, sendo esta uma propriedade que influencia na trabalhabilidade, exigindo misturas frequentes para homogeneização

³ JOISEL, A . (1981). *Fissuras y grietas en morteros y hormigones:sus causas y remedios*.5 ed.Barcelona:Editores Tecnicos Asociados apud SELMO, S.M.S. *Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edificios*. São Paulo.187p.Dissertação(Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

do material, podendo interferir na capacidade de adesão da argamassa ao ser lançada contra a base.

Para alguns autores, conforme coloca CARASEK (1996), as argamassas com maior fluidez apresentam altas resistências de aderência.

HAN & KISHITANI (1984) apud CARASEK⁴ (1996) ao avaliarem o efeito da consistência da argamassa na aderência em blocos cerâmicos, constataram que argamassas mais fluidas proporcionavam um crescimento da resistência de aderência até um ponto ótimo, e que a partir deste ponto (200 a 230mm – mesa de abatimento) havia uma queda na aderência.

Quantidade maior de água produz argamassa com consistência mais fluida, o que facilita sua aplicação. No entanto, deve-se salientar que uma quantidade de água elevada pode prejudicar as propriedades da argamassa no estado endurecido, devendo a adição de água à argamassa ser bem controlada.

4

HAN, K.M. & KISHITANI, K. (1984). A study on the bond strength of brick masonry mortars. *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokio*. V.37, n.4, p.757-758, sep apud CARASEK, H. (1996). *Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos-avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. São Paulo..285p. Tese(Doutorado)- Escola Politécnica da, Universidade de São Paulo.

Plasticidade

É a propriedade pela qual a argamassa mantém a sua deformação mesmo após ter sido cessado o esforço deformante. Segundo a RILEM/CIB(1966) apud MACIEL (1997)⁵, a plasticidade está relacionada à coesão entre as partículas constituintes da argamassa.

A RILEM (1982) observa que a plasticidade depende do teor de ar, da natureza e do teor de aglomerante e ainda da energia empregada na mistura das argamassas. A maior plasticidade da argamassa pode evitar a segregação dos agregados e a exsudação de água.

Para cada finalidade da argamassa, como descreve CARASEK (1996), tem-se uma plasticidade adequada que necessita de uma quantidade ótima de água que equivale a uma consistência ótima, sendo função do proporcionamento e natureza dos materiais.

Retenção de água

De acordo com YOSHIDA & BARROS (1995), uma argamassa deve possuir capacidade de reter água necessária para molhar a superfície dos grãos e do aglomerante.

Assim, de acordo com CINCOTTO et al. (1995), esta propriedade pode ser definida como: “capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água”.

5

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX / CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. (1966). Commission on mortars and renderings. Progress report. Bulletin RILEM, n.30, p.13-55, mar apud MACIEL, L.L.(1997). *O Projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada*. São Paulo.V.1, 183p.Dissertação(Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Conforme SELMO (1989), a retenção de água permite uma adequada hidratação do cimento e carbonatação da cal, proporcionando à argamassa endurecida boas propriedades mecânicas, além de contribuir para evitar a retração.

A retenção de água tem influência direta no tempo disponível para o pedreiro aplicar, regularizar e desempenar a camada de revestimento. CINCOTTO et al. (1995) observam que a retenção de água também tem influência sobre as condições de contato da argamassa com a base.

Neste sentido, alguns autores, segundo CARASEK (1996), constataram que argamassas com baixa retenção de água aplicada em substratos com alta sucção apresentaram maiores aderências que as argamassas com alta retenção.

As características e proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa e sua forma de produção podem alterar a retenção de água. Tais fatores são, segundo CINCOTTO et al. (1995): área específica dos materiais constituintes; maturação prévia das argamassas de cal; natureza da cal; relação cal/cimento e relação agregado/aglomerante do traço.

Para MARTINELLI (1989) a capacidade de retenção de água também é afetada pelo módulo de finura do agregado, uma vez que, a redução do módulo de finura provoca um crescimento do índice de retenção de água.

A retenção de água das argamassas está relacionada com a superfície dos seus constituintes, sendo os aglomerantes os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água. Entre os aglomerantes, a cal, devido a sua elevada superfície específica e

capacidade adsortiva, é mais adequada para melhorar a retenção de água.

Quando as pastas de cal são submetidas à maturação prévia, proporcionam melhorias na retenção e plasticidade e ainda na resistência de aderência.

Com relação à natureza da cal, as cales dolomíticas apresentam melhores resultados de retenção de água.

Quanto à relação cal/cimento e relação agregado/aglomerante, pode-se concluir, com base em estudos realizados na EPUSP e citados por SELMO (1989), que:

- teor alto de aglomerante permite elevada retenção de água. No entanto, reduzindo-se o teor de aglomerante, mas aumentando-se a relação cal/cimento, obtém-se melhorias na retenção de água.
- fixando-se a relação cal/cimento, a retenção de água decresce com o aumento da relação agregado/aglomerante.

Estas considerações podem ser melhor observadas nas figuras 01 e 02.

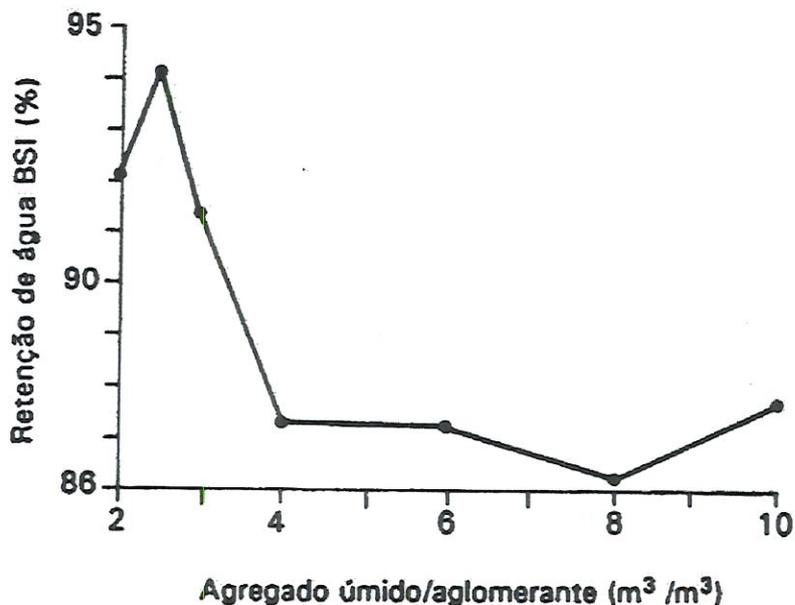


Figura 01- Variação da retenção de água de argamassa de cimento Portland e cal, conforme o aumento da relação agregado úmido/aglomerante, dos traços em volume, estando a relação cal/cimento, em volume, fixa e igual a 1 (SELMO, 1989)

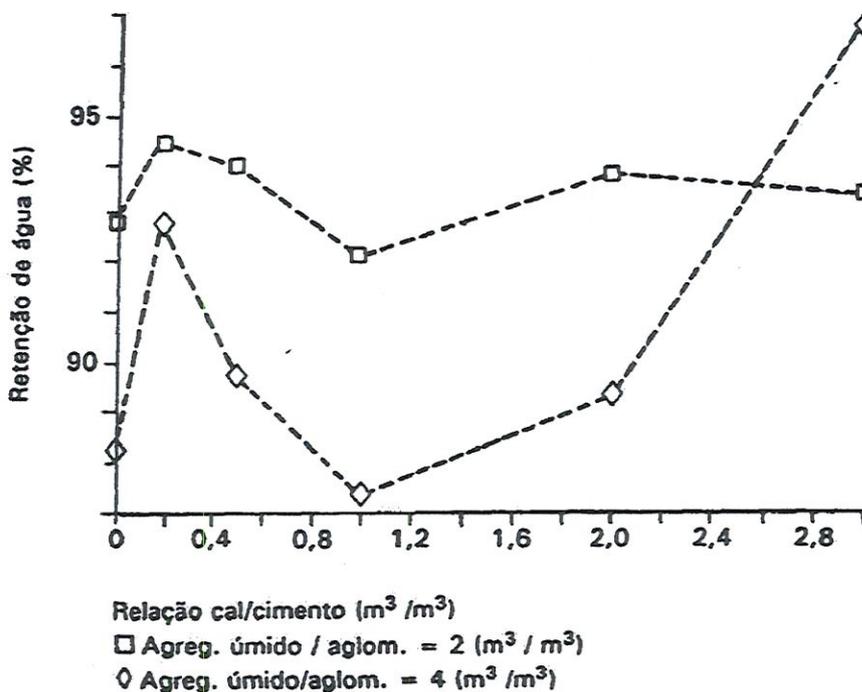


Figura 02 - Variação da retenção de água de argamassas de cimento Portland e cal, conforme as relações cal/cimento e agregado úmido/aglomerante, traço em volume (SELMO,1989)

Teor de ar incorporado e massa específica

De acordo com CINCOTTO et al. (1995), a massa específica da argamassa constitui-se na relação entre a massa da argamassa e o seu volume a uma determinada temperatura, podendo ser relativa ou absoluta, conforme se considere ou não os vazios existentes.

A quantidade de ar presente na argamassa equivale ao teor de ar incorporado e este, segundo CINCOTTO et al. (1995), é inversamente proporcional ao teor de aglomerante. Nos estudos desenvolvidos por CAVANI et al. (1997) observa-se que a quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade e o índice de consistência são inversamente proporcionais ao teor de ar incorporado.

Para YOSHIDA & BARROS (1995) o teor de ar “serve de lubrificante entre os grãos sólidos da argamassa, dando a esta uma incomparável trabalhabilidade”.

Pesquisas desenvolvidas por diversos autores e apresentados por CARASEK (1996), confirmam a conclusão anterior ao mostrarem que a massa específica e o teor de ar influenciam na trabalhabilidade das argamassas: uma argamassa com menor massa específica, apresenta melhor trabalhabilidade, entretanto, uma redução da massa específica através do aumento do teor de ar⁶, pode diminuir os pontos de contato da argamassa com o substrato reduzindo a aderência entre os mesmos.

⁶ A medida que cresce o teor de ar, a massa específica relativa da argamassa diminui.

Adesão inicial

A adesão inicial é a propriedade que define a aderência da argamassa fresca na base a ser revestida.

Como destaca ROSELO (1976) apud SELMO⁷ (1989) a baixa tensão superficial da pasta aglomerante, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, permite a sua adesão física ao substrato, e também aos próprios grãos do agregado.

CINCOTTO et al. (1995) afirma que “a forma como ocorre essa adesão depende tanto das características de trabalhabilidade da argamassa, quanto das características de porosidade ou rugosidade da base ou de tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais.”

Com relação aos poros da base, SABBATINI (1995)⁸ apud MACIEL (1997), explica que os poros capilares muito finos facilitam a penetração da pasta e a ancoragem mecânica durante seu endurecimento, e a presença de poucos poros capilares ou muito macroporo podem interferir negativamente na aderência. A aderência inicial também pode ser reduzida, se existirem sujeiras ou oleosidade que evitem a penetração da pasta nos poros.

De forma a permitir melhor extensão de aderência e conseqüentemente melhor adesão ao longo da interface de contato do

⁷ ROSELO, M.T.V. (1976). *Morteros de cemento para albañileria*. Madrid.I.E.T apud SELMO, S.M.S. *Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios*. São Paulo.187p. Dissertação(Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

⁸ SABBATINI, F.H.(1995). *Tecnologia de produção de revestimento*. /Notas de aula da disciplina PCC-816 Tecnologia de produção de revestimentos-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Não impresso

revestimento com a base, a argamassa deve permanecer úmida durante o espalhamento e execução do revestimento.

CARASEK (1996) comenta que não existem métodos específicos para avaliar a adesão inicial das argamassas de revestimento e que são poucas as pesquisas que relacionam a adesão inicial com a aderência da argamassa.

1.4.2 - ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Capacidade de absorver deformações

As argamassas de revestimento, quando sujeitas a solicitações, devem apresentar capacidade para se deformarem sem ruptura (retornando à dimensão original) ou através de microfissuras não prejudiciais.

A capacidade de absorver deformações das argamassas é expressa pelo seu módulo de elasticidade, e sobre esta relação FIORITO (1994) descreve: “à medida que a argamassa vai secando, retrai-se, e vão aparecendo tensões de tração crescentes nela e na camada suporte. Tais tensões farão com que a argamassa sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem bem maiores do que quando endurecida, uma vez que seu módulo de elasticidade é inferior ao valor final. Assim sendo, no final da fase de endurecimento da argamassa, estas tensões serão inferiores chegando a um estado de equilíbrio. Maiores serão as tensões na fase de endurecimento quanto maior for o módulo de elasticidade (argamassas ricas em cimento Portland)”.

Portanto, as argamassas ricas por apresentarem elevado módulo de elasticidade, deformam-se menos e as tensões de tração permanecem

elevadas. Estas argamassas estarão mais sujeitas à tensões de tração que provocarão trincas e possíveis descolamentos de sua camada suporte à medida que sua espessura cresce. Enquanto que nas argamassas fracas (menor módulo de elasticidade), as tensões de tração são mais baixas e sua deformação lenta terá maior valores, o que tende a reduzir os efeitos da retração.

Assim, como coloca MARTINELLI (1989), o uso de um teor elevado de cimento nas argamassas opõe-se o objetivo da propriedade em questão, que é dotar a argamassa de qualidades as mais elásticas possíveis.

SABBATINI (1986) ressalta que o módulo de deformação está relacionado com a resistência mecânica, e neste sentido este autor exemplifica a relação de HILSDORF: E_d (módulo de deformação) = 1000 f_c , onde f_c = resistência à compressão. Desta forma, as argamassas mais fracas são as que apresentam as maiores capacidade de absorver deformações.

No entanto, ressalta-se que esta relação direta entre o módulo de elasticidade e resistência à compressão pode levar a enganos significativos, principalmente quando a resistência à compressão apresenta resultados elevados.

Segundo THOMAZ (1989), o módulo de deformação da argamassa interfere nas fissuras provocadas por movimentações térmicas das paredes, o que significa que a capacidade de deformação do revestimento deve superar a capacidade de deformação da parede propriamente dita. Ou seja, quando o revestimento for aplicado em diversas camadas, o módulo de deformação da argamassa de cada camada deverá ir diminuindo gradativamente de dentro para fora da

parede, o que implica também na redução do cimento no mesmo sentido.

Para SABBATINI (1986) os fatores que podem interferir na capacidade de absorver deformação das argamassas são:

Características das matérias primas

- ◆ Natureza e qualidade dos aglomerantes
- ◆ Granulometria e natureza dos agregados
- ◆ Teor e natureza de aditivos e adições

Dosagem e técnica de preparo

- ◆ Relação aglomerantes/agregado
- ◆ Condição de emprego da cal
- ◆ “descanso” da argamassa

E ainda as condições de cura.

Resistência mecânica

É a capacidade que argamassas de revestimento têm de resistirem às tensões de tração, compressão ou cisalhamento, geradas, segundo MEDEIROS & SABBATINI (1994), por atrito superficial, impacto e variações volumétricas, ocasionadas pela umidade e pela temperatura.

A resistência mecânica e a elasticidade da argamassa devem ser suficientes para suportar as solicitações higroscópicas e térmicas a que podem estar sujeitas, caso contrário podem surgir fissuras, comprometendo a durabilidade do revestimento.

GUIMARÃES (1984) ressalta que a resistência à compressão não é considerada como uma propriedade essencial, uma vez que a argamassa está inserida numa estrutura como um todo (conjunto substrato-argamassa), e portanto não há como discutir a resistência da argamassa sem levar em consideração o conjunto. No entanto, a resistência à compressão é importante ao se analisar comparativamente diferentes argamassas.

As propriedades mecânicas das argamassas de cimento são desenvolvidas a partir das reações de hidratação do cimento, já nas argamassas que contenham cal, as propriedades mecânicas resultam do processo de carbonatação do hidróxido de cálcio pela ação do anidrido carbônico do ar.

De acordo com MEDEIROS & SABBATINI(1994), os principais fatores que interferem nas resistências das argamassas são: consumo e natureza dos materiais constituintes, relação água/aglomerante, teor de finos e técnica de execução

SELMO (1989) observa que as resistências à tração e à compressão variam inversamente com a relação água/cimento das argamassas. As resistências mecânicas também variam em função do teor de cimento, que, segundo CARASEK (1996), quanto mais elevado for, maiores serão as resistências à compressão e de aderência.

Adições de pequeno volume de cal podem proporcionar um aumento nas resistências à tração e à compressão, no entanto, volumes maiores de cal podem acarretar uma redução no módulo de deformação estática e na resistência à compressão.

Quanto à proporção de agregado na argamassa, a resistência mecânica diminui se esta proporção for reduzida.

CINCOTTO et al. (1995) ao descreverem as conclusões dos estudos de alguns autores, explanam que altas temperaturas influenciam positivamente nas resistências das argamassas com cal, o mesmo não ocorrendo com as argamassas de cimento que apresentam redução das resistências.

Retração

Logo após o adensamento e acabamento da superfície da argamassa, podem surgir fissuras de retração plástica, que podem ser eliminadas pela simples passagem da colher de pedreiro sobre elas.

Um outro tipo de retração resulta da variação de volume que ocorre na argamassa devido à perda de água durante o processo de endurecimento, podendo afetar a estanqueidade e durabilidade do revestimento.

KOPSCHITZ et al. (1997) observam que nas argamassas no estado fresco, a retração é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da água de mistura; e nas argamassas endurecidas, após a saída da água livre presente nos vazios capilares, a retração é provocada pela perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta.

De acordo com SELMO (1989), a retração por secagem dos revestimentos origina tensões internas de tração na argamassa e de cisalhamento na interface argamassa/substrato o que pode vir a provocar fissuras.

Alguns fatores como, granulometria do agregado, teor de água, teor de aglomerante e condições ambientais podem reduzir ou aumentar o potencial de retração das argamassas.

O volume de agregado é eficaz na redução da retração, daí a necessidade da escolha adequada do agregado a ser utilizado. Como o agregado determina o volume de vazios a ser preenchido, quanto mais reduzido for este volume, menor o teor de pasta necessário, e conseqüentemente menor a retração da argamassa.

Contudo, se os agregados apresentem teores elevados de finos e impurezas orgânicas, podem, neste caso particular, favorecer a retração.

O proporcionamento adequado dos constituintes da argamassa pode diminuir o potencial de retração, desta forma, as argamassas de revestimento devem apresentar teores consideráveis de cal e cimento.

Sobre a cal hidratada, esta favorece a retenção de água que por sua vez regula a retração. No entanto, THOMAZ (1989) ressalta que a cal pode conter altos teores de finos inertes que podem causar retrações acentuadas em argamassas teoricamente bem dosadas.

Com relação ao cimento, quanto maior o teor deste aglomerante, mais elevado o potencial de retração da argamassa, o que provoca o aparecimento de fissuras.

Finalmente, as condições ambientais, como o vento, a temperatura e a umidade têm influência sobre a retração. Temperaturas elevadas aumentam a retração nas primeiras idades, reduzindo-a em idades mais avançadas.

Permeabilidade

Esta propriedade caracteriza a passagem de água através da argamassa endurecida, sendo resultante da conjunção das características do revestimento com o substrato.

Com relação às características do revestimento que podem ter influência sobre a permeabilidade, CINCOTTO et al. (1995) citam a granulometria do agregado e natureza e teor do aglomerante.

Para estes autores o aumento do teor de cimento reduz a permeabilidade da argamassa, sendo esta propriedade diretamente proporcional à relação água/aglomerante e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante.

ALMEIDA JR. et al. (1995) ao desenvolverem um estudo experimental para avaliar a permeabilidade dos revestimentos em diversos substratos, concluíram que as características dos substratos e das argamassas, e ainda as diferentes espessuras do revestimento alteram o desempenho do conjunto quanto à estanqueidade à água.

Aderência

A aderência da argamassa endurecida à base de aplicação é um fenômeno mecânico que se dá pela penetração da argamassa nos poros do substrato.

Para explicar este fenômeno SELMO (1989) descreve que: “a argamassa molha a base através da pasta e parte da água de amassamento contendo os aglomerantes em dissolução é succionada pelos poros da base. No interior destes, ocorre a precipitação dos silicatos e hidróxidos e seu endurecimento progressivo promove a

consequente ancoragem mecânica da argamassa à base. Portanto, deve-se garantir que a argamassa tenha a capacidade de molhar a base, o que depende da natureza intrínseca dos dois materiais.”

Conforme SABBATINI (1986) as propriedades das argamassas que mais interferem na aderência são: a capacidade de retenção de água, a consistência (influi na extensão de aderência) e a tensão superficial da pasta. Ainda influencia na aderência a qualidade do substrato e da mão de obra e também as condições de cura.

Quanto às condições de cura, este autor afirma que a rápida evaporação da água prejudica a aderência, devendo-se portanto, considerar a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a intensidade das correntes de ar e a insolação direta, como fatores que podem influenciar a aderência.

Com relação à retenção de água, CARASEK (1996) observa que esta propriedade, assim como o teor de ar incorporado, não tem relação direta com as variações da resistência de aderência provenientes da argamassa. Apenas no caso de argamassas com teores de cimento muito próximos ou iguais, a retenção de água das argamassas pode explicar as variações de resistência de aderência.

Na base, segundo CINCOTTO et al. (1995), a absorção inicial e a textura são características importantes, que interferem na aderência. Por sua vez, IOPPI et al. (1995) dizem que o índice de absorção inicial do substrato, isoladamente, não é um bom indicativo da aderência dos revestimentos.

Com relação à textura da superfície do substrato, ainda existem dúvidas no meio científico, no que se refere a influência das variações de textura na aderência.

Neste sentido, alguns autores afirmam que tijolos com maior rugosidade apresentam maiores resistências de aderência. No entanto, CARASEK (1996) constatou em estudo realizado com diversos substratos, que o tijolo mais rugoso apresentava a menor capacidade de aderência, o que levou a concluir que a rugosidade do tijolo, por si só, não é um parâmetro adequado para definir a capacidade de aderência e que outras características dos substratos, como porosidade, devem ser levadas em consideração.

No caso da porosidade, quanto maiores os poros capilares, conseqüentemente área específica menor, mais elevada é a resistência de aderência.

CARASEK (1996) ao desenvolver pesquisas para avaliar a influência do tipo de substrato, tipo de argamassa e condição de umidade inicial do substrato na resistência de aderência, concluiu que dentre os fatores avaliados, o tipo de argamassa apresenta um efeito mais significativo na resistência de aderência e o melhor parâmetro para explicar este efeito é o teor de cimento.

Ficou comprovado por CARASEK que à medida que se aumenta a quantidade de cimento nas argamassas obtém-se maiores resistências de aderência. As argamassas de traço em volume 1:3, de alto teor de cimento, apresentaram as maiores resistências de aderência, enquanto que as argamassa de traço 1:2:9, composta de areia, cal e cimento em baixo teor, apresentaram as mais baixas resistências.

Ressalta-se que a consideração do traço 1:3 como revestimento poderá dar origem a patologias diversas, pelo conseqüente elevado módulo de elasticidade. No entanto, percebe-se claramente que as

formulações de chapisco, em traço 1:3, permitem uma ótima aderência aos substratos.

Ainda assim, os estudos realizados por CARASEK (1996) são interessantes, pois permitem associar os revestimentos ricos em cimento como proteção adicional a algumas estruturas que requeiram, por exemplo, uma barreira de umidade, principalmente onde ocorram agregados deletérios.

Nos resultados obtidos por esta autora, verifica-se o efeito positivo da adição da cal hidratada na aderência das argamassas mistas, mesmo tendo estas apresentado as menores resistências, quando comparadas às argamassas de cimento.

BOLORINO & CINCOTTO (1997) observaram, a partir dos resultados obtidos em seus estudos, que a resistência de aderência aumenta gradativamente ao longo do tempo até atingir um patamar. Até alcançar este patamar a ruptura se dá nas argamassas, e após atingir o patamar a ruptura passa a se dar na interface revestimento/chapisco, uma vez que as argamassas tornam-se mais rígidas.

Para CARASEK (1996) a resistência de aderência é diretamente proporcional à resistência à tração e à compressão das argamassas. No entanto, esta mesma autora destaca os resultados dos estudos desenvolvidos por HAN & KISHITANI⁹), onde se verifica uma relação inversa entre as propriedades citadas acima. Estes autores obtiveram melhores resultados de aderência com argamassas mais fluidas, com

⁹ HAN, K.M. & KISHITANI, K. (1984). A study on the bond strength of brick masonry mortars. *Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo*. V.37, n.4, p.757-758, sep.

maior relação água/materiais, e portanto, com menores resistências à compressão.

Sobre a relação existente entre a consistência e plasticidade da argamassa com sua capacidade de aderência, diversos autores afirmam que quanto maior a fluidez inicial da argamassa melhor a capacidade de aderência.

De acordo com SELMO (1989), a avaliação da aderência de revestimentos é importante, pois permite a comparação de diferentes composições ou traços da argamassa e ainda um maior controle da execução de serviços ou a realização de diagnósticos de revestimentos com problemas patológicos.

Salienta-se que as argamassas testadas apenas em laboratórios podem não apresentar o mesmo desempenho quando aplicadas na prática em obras, uma vez que a metodologia de ensaio muitas vezes não reflete fielmente o que acontece na prática.

Desta forma, na execução do painel para testes em laboratório, deve-se tentar representar as condições que efetivamente se encontrarão no decorrer da obra, pois, conforme comenta NEVES et al. (1995), com base nos seus estudos experimentais, a influência da aplicação na resistência de aderência à tração foi comprovada pela variação dos valores obtidos no ensaio realizados para uma mesma argamassa.

1.5 – PATOLOGIAS DOS REVESTIMENTOS

De acordo com SANTANA (1993), diversos problemas patológicos são encontrados em edificações, ocasionando um desempenho não satisfatório a seus usuários. No Brasil, percebe-se preocupações neste sentido apenas quando as obras estejam colocando os seus

usuários em risco, tornando-se a sua recuperação muito mais trabalhosa e dispendiosa.

CINCOTTO (1997) coloca que os problemas patológicos encontrados com mais frequência em argamassas são originados nas diversas etapas da construção: na fase de projeto, quando a seleção do tipo de revestimento é inadequado à base e à função do revestimento; na fase de execução, quando não se respeitam as características dos materiais no cronograma da obra bem como os princípios básicos da aplicação; na fase de ocupação, quando são menosprezados os serviços destinados à manutenção.

Corroborando as informações anteriores, MACIEL (1997) comenta, com base em seu levantamento bibliográfico, sobre as causas dos problemas patológicos que podem ser originados durante as várias fases da construção de uma edificação.

Segundo esta autora, na *fase de concepção do projeto* pode-se citar:

- ◆ ausência de especificações prévias do projeto;
- ◆ planejamento falho;
- ◆ projetos mal detalhados sem considerar a interferência entre os diversos projetos;
- ◆ projeto inadequado;
- ◆ seleção inadequada dos materiais ou das técnicas construtivas.

Quanto à *fase de execução*:

- ◆ má qualidade dos materiais ou das técnicas empregadas;
- ◆ mão-de-obra inadequada ou ausência de mão-de-obra treinada;
- ◆ alterações inadequadas das especificações de projeto;
- ◆ execução em desacordo com o projeto;
- ◆ falhas de mão-de-obra;

- ◆ atuação de agentes não previstos sobre a edificação;
- ◆ má aplicação do revestimento;
- ◆ mau proporcionamento das argamassas;
- ◆ tipo e qualidade dos materiais utilizados;
- ◆ modo de preparo da argamassa.

Finalmente quanto à *fase de utilização*:

- ◆ alterações mal estudadas;
- ◆ degradação dos materiais por má utilização dos usuários;
- ◆ ausência ou insuficiência de manutenção.

Na execução das fases citadas, normalmente se leva em consideração apenas o requisito econômico, não existindo uma preocupação maior com o desempenho dos revestimentos, o que ocasiona a ocorrência de problemas patológicos.

A tabela 06 apresenta as manifestações patológicas mais comuns nas argamassas, podendo-se identificar as fases do processo em que se concentram as suas causas determinantes.

Tabela 06 – Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO et al., 1995)

Manifestações	Aspectos observadas	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem Segundo as decisões tomadas
Eflorescências	Manchas de umidade. Pó branco acumulado sobre a superfície	Umidade constante. Sais solúveis presentes no componente de alvenaria. Sais solúveis presentes na água de amassamento ou umidade infiltrada. Cal não carbonatada.	-Projeto do edifício -Especificação de material e componentes -Produção da argamassa -Execução em obra
Bolor	Manchas esverdeadas ou escuras Revestimento em desagregação	Umidade constante Área não expostas ao sol	-Projeto do edifício -Execução em obra
Vesículas	Empolamento de pintura, apresentando-se as partes internas na cor: -branca, -preta -vermelho acastanhado	Hidratação retardada de óxido de cálcio da cal. Presença de pirita ou de matéria orgânica na areia. Presença de concreções ferruginosas na areia.	-Especificação de materiais -Produção da argamassas -Execução em obra
	Bolhas contendo umidade no interior	Aplicação prematura de tinta impermeável. Infiltração de umidade.	-Execução em obra -Uso -Manutenção
Fissuras horizontais	Apresentam-se ao longo de toda parede, com aberturas variáveis. Descolamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão.	Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos, ou devida à presença de argilo-minerais expansivos no agregado.	-Especificação de materiais -Produção da argamassa -Execução em obra.
Fissuras mapeadas	Distribuem-se por toda a superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer descoldamento do revestimento em placas, de fácil desagregação.	Retração da argamassa por excesso de finos do agregado. Cimento como único aglomerante, água de amassamento	-Especificação de materiais -Produção da argamassa -Execução em obra
Fissuras geométricas	Acompanham o contorno do componente de alvenaria.	Retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos no agregado. Movimentação higrótérmica do componente	-Projeto do edifício -Especificação de materiais -Produção da argamassa -Execução em obra

Tabela 06 – Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO et al., 1995)

Manifestações	Aspectos observadas	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem Segundo as decisões tomadas
Descolamento com empolamento	A superfície do reboco descola do emboço formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente. O reboco apresenta som cavo sob percussão.	Hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.	-Especificações de materiais -Produção da argamassa
Descolamento em placas	A placa apresenta-se endurecida, quebrando com dificuldade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo.	A superfície de contato com a camada interior apresenta placas frequentes de mica. Argamassa muito rica em cimento. Argamassa aplicada em camada muito espessa. Corrosão da armadura do concreto de base.	-Especificações de materiais e componentes -Produção da argamassa -Execução em obra
		A superfície da base é muito lisa. A superfície da base está impregnada com substância hidrófuga. Ausência da camada de chapisco	
	A placa apresenta-se endurecida, mais quebradiça desagregando-se com facilidade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo.	Argamassa magra. Ausência de camada de chapisco.	
Descolamento com pulverulência	A película de tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade. O reboco apresenta um som cavo sob percussão. O revestimento em monocamada desagrega-se com facilidade.	Excesso de finos no agregado Argamassa magra Argamassa rica em cal Ausência de carbonatação da cal Argamassa de reboco aplicada em camada muito espessa.	-Especificação de materiais -Produção da argamassa -Execução em obra

1.6 – ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM ADIÇÕES

Ao se dispor a estudar o uso de materiais pozolânicos na confecção de argamassas de revestimento, foi imprescindível fazer um prévio levantamento de pesquisas desenvolvidas com argamassas alternativas, de modo a se obter uma visão geral sobre o estado-da-arte em revestimentos produzidos com adições de diversos materiais.

A NBR-13529 (1995) define as adições como: “materiais inorgânicos naturais e industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento”. Cabe ressaltar que, na definição do tipo de adição a ser usado, devem ser considerados aspectos relacionados a finalidade, disponibilidade e custo.

NEVES et al. (1997) ao estudarem as adições argilominerais da região metropolitana de Salvador, determinaram parâmetros para a caracterização, através de ensaios de laboratório e medições em campo, de forma a estabelecer condições para o emprego destas adições que atendam às exigências de uso das argamassas no desempenho das suas funções.

LEVY et al. (1997) analisaram a influência do entulho reciclado nas propriedades das argamassas quando utilizado na confecção das mesmas. O entulho, constituído de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos finamente moídos apresentou-se, segundo o estudo desenvolvido, apropriado para utilização em argamassas.

SILVA et al. (1997) também desenvolveram pesquisas com entulho reciclado proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto e tijolos dos canteiros de obras para a produção de argamassas de revestimento.

CARVALHO & CAVALCANTI J.R. (1997) verificaram a influência da adição de arenoso¹⁰ no comportamento das argamassas, na região de Aracaju, a partir da interpretação de ensaios de caracterização dos materiais componentes e de argamassas executadas com diferentes composições. Os resultados destes ensaios mostraram que a adição de arenoso traz vantagens às argamassas: redução da quantidade de aglomerante, redução do índice de vazios e da absorção de água, aumento das resistências mecânicas, aumento da resistência de aderência com 100% de adição, etc.

A pesquisa desenvolvida por NASCIMENTO et al. (1997) apresenta resultados de um estudo sobre a adição de microfibras de náilon nas argamassas de revestimento em regiões sujeitas a esforços de tração e/ou cortante. Segundo conclusões destes autores, as adições de microfibras aumentam a resistência à tração e reduzem a retração, evitando fissuras provocadas por fatores externos.

SILVEIRA & DAL MOLIN (1995) desenvolveram um trabalho empregando a cinza de casca de arroz em argamassas, verificando a influência da temperatura de queima, utilizada na produção da cinza, na resistência à compressão e atividade pozolânica destas argamassas. Segundo resultados obtidos, concluiu-se que a cinza de casca de arroz é um excelente material pozolânico e adequado para ser usado como adição em argamassas.

Em outro estudo experimental desenvolvido por BARBOSA FILHO & PIRES SOBRINHO (1998), foram avaliadas argamassas com a cinza de casca de arroz e também com a cinza de cana-de-açúcar. Os

10

Termo regional usado para designar um tipo de material argiloso encontrado em grande quantidade no Nordeste e usado com frequência em argamassas.

autores constataram que há semelhanças quanto ao comportamento mecânico dos dois tipos de cinzas utilizados.

SANTOS & PRUDÊNCIO (1998) desenvolveram um estudo comparando o desempenho, em argamassas, da cinza volante de carvão mineral e da cinza de casca de arroz residual. Eles constataram que a cinza de casca de arroz apresenta atividade pozolânica e resistência superior as da cinza volante.

1.7-PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DOS REVESTIMENTOS

1.7.1 – QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para atender às exigências decorrentes das transformações ocorridas no campo econômico, político, social e cultural do país, as empresas vêm recorrendo a novas estratégias de atuação, visando melhorias na qualidade dos produtos e redução de custos de produção.

Neste sentido, o setor da construção civil, que está passando por um processo de evolução, ainda que lentamente, já sofreu uma série de alterações tanto no sistema de produção da construção como no tipo de materiais utilizados, na tentativa de aumentar a produtividade e reduzir custos.

Atualmente, com a maior preocupação com os custos, torna-se imprescindível a integração entre todos os profissionais e etapas do processo de construção. VARGAS (1996) comenta sobre a ausência de integração entre os profissionais: os engenheiros ficam responsáveis apenas pelo controle de prazos e recursos financeiros, os projetistas e arquitetos pela questão estética e os calculistas pelo dimensionamento das estruturas.

VARGAS (1996) ainda afirma que “o custo passou a ser fundamental e a construção civil começou a se engajar nos modismos que antes eram da indústria, como a qualidade total, a reengenharia e a ISO 9000”.

De acordo com dados retirados da folha de São Paulo (22/03/98), 54 empresas do setor da construção no Brasil conseguiram obter o certificado de qualidade até fevereiro de 1998 e ainda estima-se que 50 empresas de construção estejam em processo de implantação da ISO 9000, com certificação prevista para os próximos dois anos.

Nas figuras 03 e 04 pode ser observado as diversas razões para implantação de sistemas de qualidade e suas desvantagens.



Figura 03 – Razões para implementação de sistemas de qualidade (SANTIN, 1998)

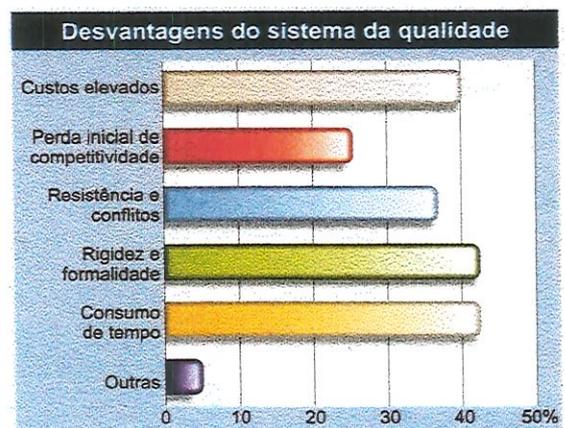


Figura 04 – Desvantagens do sistema de qualidade (SANTIN, 1998)

Como forma de aumentar o nível da qualidade da construção civil no País, é necessário tentar suprir deficiências neste setor no que diz respeito ao desperdício.

Dentro deste contexto, COZZA (1996) apresenta os resultados de uma pesquisa sobre os principais problemas nas construtoras, realizada

pela Divisão de Pesquisa, Planejamento e Avaliação do SENAI – SP em conjunto com seu Conselho Consultivo da Construção Civil.

De acordo com estes resultados, que podem ser vistos na tabela 07, conclui-se que entre os problemas constatados, o mais frequente está relacionado às questões de produtividade, sendo o desperdício e métodos empregados os responsáveis por esta baixa produtividade.

Tabela 07 - Principais problemas nas construtoras (COZZA, 1996)

Principais problemas nas construtoras					
De acordo com a pesquisa realizada pelo DDPA/Senai, as construtoras enfrentam três problemas básicos (produtividade, custos e recursos humanos), causados por fatores diversos. Acompanhe a porcentagem das empresas que declaram enfrentar essas dificuldades.					
1- Produtividade	87,3%	2- Custos	85,9%	3- Recursos humanos	80,3%
Desperdício	64,5%	Controle	67,2%	Formação profissional	66,7%
Métodos	54,8%	Planejamento	41,0%	Desenvolvimento gerencial	38,6%
Índice	25,8%	Orçamento	23,0%	Segurança	33,3%

1.7.2 – QUALIDADE NO PROJETO E NA PRODUÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Diversas patologias observadas nas edificações provêm de uma falta de controle de qualidade durante todas as etapas de execução da argamassa.

CINCOTTO et al. (1995) observam que a avaliação da qualidade de argamassas para revestimento abrange a identificação dos fatores que afetam a durabilidade e o desempenho do revestimento.

Neste sentido, CINCOTTO (1997) ressalta que como nem sempre pode-se prever em laboratório o desempenho e durabilidade do produto, este deve ser observado em sua exposição natural, para

complementar os estudos de laboratório referentes a pesquisa e controle de qualidade.

CINCOTTO ainda observa que a qualidade do revestimento depende do produtor, que deve conhecer bem os serviços de produção, e também do construtor que deve receber treinamento para o manuseio correto do produto. Conforme esta autora, a melhoria da qualidade das argamassas disponíveis, motivará outros fabricantes a produzir com qualidade, pois caso contrário ficarão fora do mercado.

Alguns autores como CINCOTTO (1995), PICCHI (1995), MACIEL (1997) e VALENTIN (1997) fazem algumas considerações, que são expostas a seguir, sobre o que deve ser feito antes e durante a execução dos revestimentos:

◆ *Antes do início da execução do revestimento – etapa de projeto*

As especificações de projeto devem identificar para todas as superfícies a serem revestidas, o sistema e os tipos de argamassas que serão empregados, sua função, detalhes construtivos e a definição das características das bases.

Nas fase de projeto e especificação de materiais e componentes, as decisões são quase sempre tomadas levando em conta principalmente a questão econômica, o que pode acarretar um desempenho inadequado do revestimento, com custos futuros de manutenção e recuperação.

No controle desta etapa, deve ser verificado se é possível atender às especificações definidas no projeto, caso contrário deve ser feita uma revisão das especificações, fixando novamente o procedimento a ser adotado para cada situação.

Os desperdícios provenientes da etapa de projeto, são decorrentes, principalmente, da falta de compatibilidade entre os projetos, dos detalhes incorretos ou inexistentes, da falta do projeto, da falta de atualização do projeto, da falta de otimização e racionalização das soluções propostas e das soluções improvisadas.

FRANCHI et al. (1993) comentam sobre a ausência de integração entre os projetos das diversas partes do edifício e entre a etapa de projeto e a de produção, que pode conduzir a um detalhamento insuficiente, resultando em alterações nos projetos durante a execução da obra, causando um consumo desnecessário de argamassa e conseqüente aumento do custo total de produção. Dessa maneira, verifica-se que através de um projeto adequado pode-se obter uma redução de custos.

Dentro deste contexto, MACIEL (1997) propõe o desenvolvimento de um projeto específico para revestimentos de argamassa de fachada, coordenado com os projetos das demais partes do edifício, para obtenção de melhor desempenho do revestimento e redução dos custos de produção.

◆ *Etapa de execução do revestimento*

Esta etapa é responsável por uma grande parte das patologias observadas nas edificações. MEDEIROS & SABBATINI (1994) afirmam que conhecendo-se adequadamente a tecnologia de produção é possível controlar a execução adequada de revestimentos argamassados de modo a obter desempenhos satisfatórios dos mesmos.

Um controle de qualidade na produção das argamassas pode proporcionar, além de um melhor desempenho, uma maior



durabilidade e menor custo total das edificações, contribuindo ainda para a estética do revestimento.

O controle de recebimento dos materiais, conhecimento das técnicas de dosagem, preparo e aplicação, são aspectos que na fase de produção da argamassa interferem no desempenho e devem ser equacionados tanto através de controle de qualidade de produtos e serviços, como através do treinamento da mão de obra e planejamento da execução dos serviços.

Com relação à aquisição e seleção dos materiais, o executor, com base no que foi definido em projeto, deve selecionar que tipo de argamassa é mais adequado, sempre seguindo o que está especificado em normas.

Sobre a aplicação das argamassas, VALENTIN (1997) observa que “o responsável por este serviço deve programar seus serviços dentro das etapas detalhadas, desde as verificações preliminares, cronograma de execução, acompanhamento dos serviços de revestimento, limpeza e proteção de outros serviços, até o recebimento, passando pelos controles da água de amassamento, agregados, adições, medição dos materiais e preparo da mistura”. Este autor apresenta um fluxograma, conforme figura 05, que indica as diferentes etapas de execução de um revestimento.

Para o revestimento desempenhar suas funções previstas, suas características físicas e químicas devem ser garantidas durante a execução, pois qualquer falha nesta fase pode comprometer o desempenho futuro.

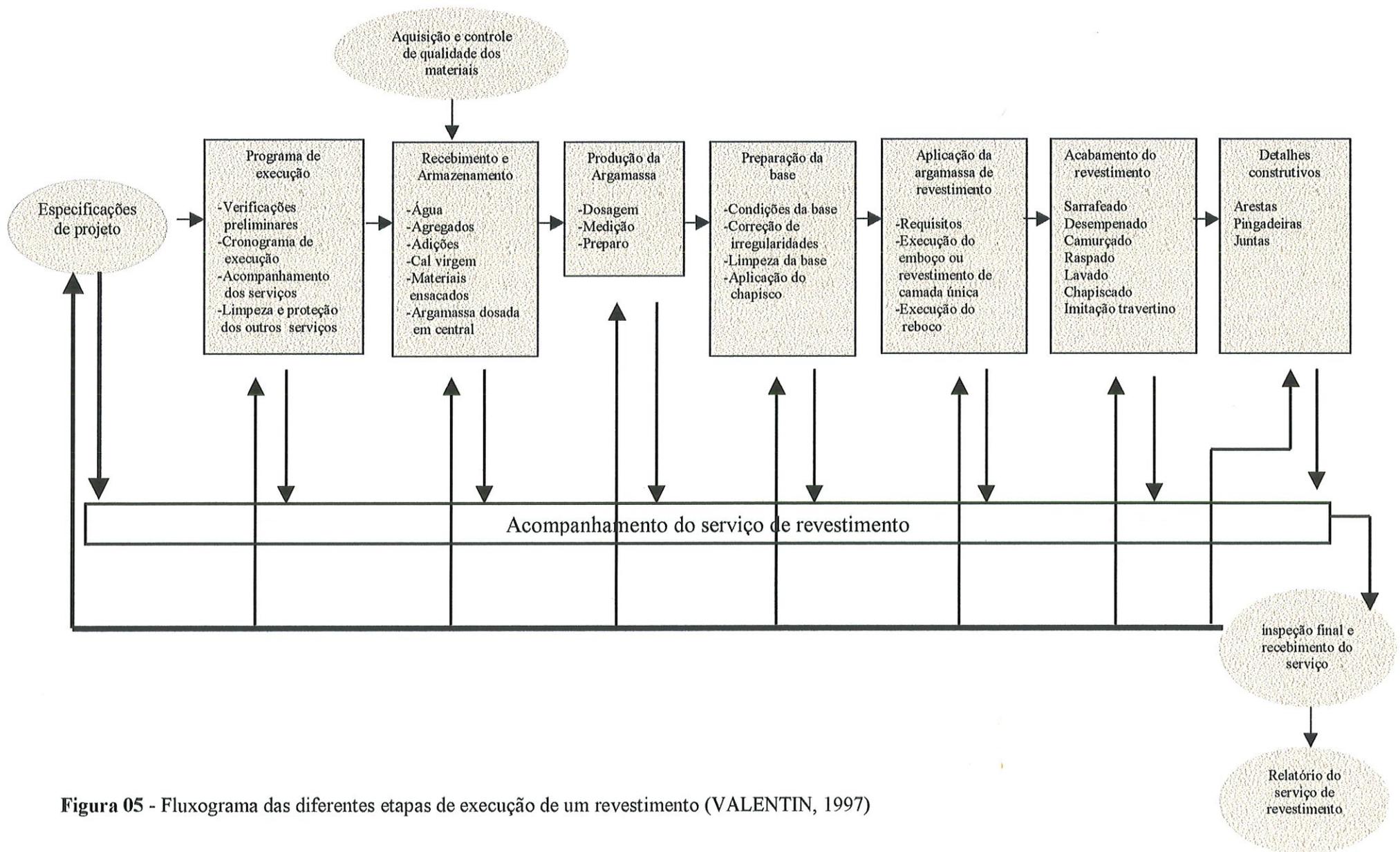


Figura 05 - Fluxograma das diferentes etapas de execução de um revestimento (VALENTIN, 1997)

Na execução são considerados certos fatores, citados a seguir, que devem atender aos requisitos de qualidade, permitindo assim um desempenho satisfatório do revestimento.

- ◆ materiais– características da areia, do cimento, da cal, da água e adições e aditivos utilizados na confecção da argamassa.
- ◆ equipamento– manuais ou mecânicos
- ◆ ambiente– revestimentos realizados em dias úmidos são diferentes de revestimentos realizados em dias secos, que são influenciados também pelas características geométricas do revestimento e pelas características físicas e químicas do substrato onde será aplicado o revestimento.
- ◆ mão de obra– capacidade técnica

Na produção dos revestimentos, além da argamassa e da sua forma de produção, outros aspectos devem ser considerados, tais como: as características do substrato, as espessuras e acabamento superficial das suas camadas constituintes, os detalhes arquitetônicos e construtivos, os procedimentos de execução e de controle dos serviços e o sequenciamento das atividades de execução.

FRANCHI et al. (1993) ao estudarem as perdas e desperdícios de materiais durante a execução de diversos serviços, constataram, com relação às argamassas, uma alta incidência de desperdício desse material, devido principalmente às elevadas espessuras do revestimento de argamassa, e ainda à definição da dosagem e produção da argamassa.

Como observa MACIEL (1997), as práticas de produção de argamassa e de sua aplicação como revestimento externo¹¹ não seguem um

¹¹ Considerações também válidas para revestimentos aplicados em outras partes da edificações

procedimento sistemático para definição do proporcionamento adequado e das formas de produção.

Desta forma, as construtoras adotam as suas próprias composições, tendo como requisito primordial a economia, deixando de lado o requisito técnico. Como resultado, observa-se diversidade entre as argamassas especificadas, revelando a falta de conhecimento com relação aos fatores que definem a especificação de traços e composições das argamassas, e as condições necessárias ao longo do processo de produção da edificação para garantir o desempenho satisfatório.

Observa-se, além disso, uma discrepância entre os traços indicados para os diversos serviços, chegando ao ponto de se ter, para uma mesma finalidade de uso, traços/composições bastante variáveis.

É comum ainda, o orçamento da obra ser elaborado com determinados consumos, enquanto na execução serem utilizados outros traços, acarretando um custo diferente do que foi previamente calculado.

A própria ABNT através da NBR 7200/1982, apresenta diversos traços de argamassas sem, no entanto, apresentar quase nenhuma exigência relacionada com as propriedades das mesmas, o que torna o uso destas argamassas bastante irracional.

Cabe salientar que está sendo desenvolvido um projeto de norma, pelo COBRACON/ABNT, que altera a NBR 7200 em vigor, no que se refere à revisão dos tópicos relacionados à produção e execução do revestimento, estendendo-os de forma a abranger todas as etapas.

HEINECK & TRISTÃO (1995) citam diversas modificações simples e de baixo custo, presenciadas na execução de argamassas de revestimentos em empresas envolvidas em programas de melhoria de qualidade e produtividade nos canteiros. A seguir, são listadas algumas destas modificações referentes ao controle de qualidade e produtividade:

- ◆ fichas de controle com aferição da qualidade durante a execução dos serviços;
- ◆ amostras-padrão de detalhes de acabamento de emboços e rebocos;
- ◆ determinação das espessuras nominais médias de revestimento pela divisão do volume produzido de argamassa pela área de aplicação;
- ◆ medição das espessuras finais do revestimento junto as aberturas;
- ◆ perfuração de paredes prontas para obtenção das espessuras finais de revestimento;
- ◆ medição de tempos produtivos, auxiliares e improdutivos através de observações instantâneas;
- ◆ dosagem das argamassas em volume, levando em consideração as características físicas do agregado utilizado;
- ◆ instrumentos de aferição da qualidade (régua metálica de alumínio e prumo);
- ◆ testes específicos para verificação da aderência dos revestimentos em argamassa;
- ◆ ensaios de resistência de aderência à tração de revestimentos em argamassa.

MATERIAIS POZOLÂNICOS

2.1 - HISTÓRICO

Pozolanas

No tratado “DE ARCHITECTURA” de Vitruvius, as pozolanas são descritas como: “Há um pó que efetua naturalmente coisas admiráveis; encontra-se nas regiões situadas em volta do Monte Vesúvio; misturado com a cal e com pedras contribui não só para a solidez dos edificios ordinários mas também consegue endurecer debaixo de água, nos molhes que se constróem no mar”.

Este tratado também explica: “a ação dos fogos subterrâneos torna a terra leve e árida, privando-a de água; quando as três substâncias formadas do mesmo modo pela violência do fogo (cal, pozolana e pedras) se confundem numa única mistura, a presença da água aglomera-as imediatamente e solidifica-as rapidamente, sem que nem as ondas nem o esforço das águas as possam dissolver”.

O material, cujas características excepcionais foram destacadas por Vitruvius, começou a ser utilizado bem antes da era cristã, e seu nome, **pozolana**, tem origem na localidade de Pozzuoli, na Itália,

onde havia e ainda há materiais de origem vulcânica com excelentes propriedades pozolânicas.

Os antigos construtores gregos e romanos ao misturarem certos materiais vulcânicos com a cal perceberam que estes materiais proporcionavam maior durabilidade e melhor qualidade às obras, se comparados aos materiais que comumente utilizavam. Estes materiais, de origem vulcânica, quando finamente moídos e adicionados à cal extinta apresentavam reações acompanhadas de propriedades aglomerantes.

O desenvolvimento da aplicação das pozolanas levou os romanos a estenderem seu uso para as áreas mais remotas do Império Romano. De acordo com ZAMPIERI (1993), os gregos utilizavam um tufo vulcânico encontrado na ilha de Thera (posteriormente denominada Santorim) e os romanos empregavam depósitos, também de origem vulcânica, encontrados nas vizinhanças da Baía de Nápoles, e quando não dispunham destes materiais empregavam telhas ou cerâmicas moídas, que produziam efeito similar.

Conforme KIHARA & SHUKUZAWA (1982), a utilização da pozolana foi muito difundida até o século XIX, quando foi inventado o cimento Portland. Só mais recentemente ressurgiu o interesse pelo uso das pozolanas, devido às exigências técnicas impostas a certos tipos de obras e o conhecimento de que materiais produzidos com pozolana apresentam propriedades diferenciadas e interessantes do ponto de vista da construção.

Com o decorrer do tempo, o termo pozolana passou a englobar outros materiais de origens diversas, mas exibindo o mesmo comportamento quando em contato com a cal.

Atualmente, considera-se pozolânico todo material natural ou artificial, silicoso ou sílico-aluminoso, que por si só possui pouca ou nenhuma atividade hidráulica (não reage isoladamente na presença de água), mas quando finamente moído, exibe a capacidade de se combinar com o hidróxido de cálcio em meio aquoso e à temperatura ambiente, formando novos compostos com propriedades cimentícias e insolúveis em água.

PRISZKULNIK (1981) cita, entre as pozolanas, as cinzas vulcânicas italianas, o “trass” romano e o bávaro da Alemanha; O “Kieselguhr” ou “tripoli” ou “moler”, que são variedades de diatomitos encontrados na Alemanha, Escócia, Irlanda, Dinamarca e Estados Unidos; as lavas dos Açores, da Ilha de Porto Santo e das Ilhas Canárias; os tufos riolíticos dos Estados Unidos e os andesíticos de Santo Antão, no Cabo Verde; o “Surkhi”, da Índia; as argilas e folhelhos calcinados e moídos; e alguns sub-produtos industriais, como cinzas de fornos e caldeiras, cinzas de folhelhos betuminosos, e cinzas de coque.

O emprego de pozolanas no Brasil iniciou-se com a construção das estruturas de concreto na hidroelétrica de Jupia, onde foi instalada uma fábrica de pozolana artificial e, atualmente, várias fábricas no País produzem pozolanas para diversos fins, mas principalmente para produção de cimentos.

Pesquisas têm destacado as vantagens dos materiais pozolânicos como as pozolanas de argila calcinada e escórias de alto forno, que são capazes de combinar com a cal, em presença de água, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Estes estudos têm contribuído para propagar o uso destes materiais, que se encontram entre os mais promissores no setor da construção civil.

Argilas Calcinadas

Nas antigas civilizações o homem utilizava como principal material de construção a argila amassada com água e seca ao sol. Foi provavelmente o primeiro aglomerante a ser empregado, cujo endurecimento resultava da evaporação da água de amassamento.

A argila era empregada como revestimento do pau roliço, de bambú ou para execução e assentamento de tijolos secos ao sol, com ou sem adição de estrume, palha picada e gravetos finos, responsáveis pela modificação da plasticidade e pelo aumento da resistência mecânica.

Os tijolos com este material eram colocados uns sobre os outros, a seco, ou com interposição de uma camada da mesma argila amassada com água. O material assim preparado não apresentava uma boa resistência à ação de agentes atmosféricos, pois facilmente se desagregava por ação da chuva.

Com a descoberta do fogo, constatou-se que o mesmo poderia ser utilizado para a preparação de materiais de construção, para aumentar a resistência da argila seca ao sol às intempéries, e também para produzir os materiais de ligação das alvenarias.

Os egípcios provavelmente foram os primeiros a empregar os tijolos de argila cozida. Os hindús usavam argamassas de cal e argila cozida e moída, denominada “surki” .

Os gregos e romanos utilizaram também estes materiais, e observaram que quando se misturava a cal com certas terras de origem vulcânica ou resultantes da moagem de certos tijolos e telhas, se obtinham produtos de elevada resistência aos agentes atmosféricos. Foram os romanos que levaram às outras regiões o conhecimento das vantagens da utilização do tijolo moído, da telha moída e dos tufos vulcânicos na confecção das argamassas.

Como ZAMPIERI (1993) afirma, a história das pozolanas de argilas calcinadas é contemporânea à história das pozolanas naturais de origem vulcânica, pois foram empregadas pelos romanos no preparo de argamassas de pozolana e cal, na forma de telhas ou cerâmicas moídas, substituindo as pozolanas naturais, onde estas não eram disponíveis.

No Brasil, iniciou-se o emprego de argilas calcinadas durante a construção da barragem de Jupuíá. Hoje, a grande disponibilidade de argila em todo Brasil, faz deste material uma das melhores opções para utilização como pozolanas.

Escória de alto forno

Segundo VENUAT (1977), o aproveitamento das escórias, rejeito da indústria siderúrgica, teve início com as experiências de Eugênio Langen, 1862, na Alemanha, que utilizou pela primeira vez a granulação da escória na saída do alto forno. Esta granulação era obtida a partir do resfriamento rápido da escória que, moída e misturada com a cal, fornecia verdadeiro aglomerante hidráulico.

Louís Vicat, em 1818, previu o emprego das escórias na indústria cimenteira. Por volta de 1880 surgiram na Alemanha os primeiros

aglomerantes formados de uma mistura moída finamente, de escória e clínquer de cimento Portland.

Segundo BATTAGIN (1986)¹² apud MARQUES (1994), apenas em 1882, devido a Prüssing, surgiu o primeiro cimento Portland com escória, em caráter comercial, utilizando o clínquer e escória moídas conjuntamente.

O uso do cimento com escória se expandiu na Europa e após crise do petróleo ocorreu um aumento significativo na sua utilização, devido a economia de combustível que proporcionava.

Atualmente, muitos países e inclusive o Brasil, conhecendo as excelentes propriedades das escórias, já a utilizam no cimento com sucesso.

No Brasil, a fabricação de cimento com escória foi iniciada em 1952 pela Cimento TUPI S.A, Volta Redonda (RJ), empregando escórias produzidas pela CSN (Companhia Siderúrgica Nacional). Hoje, a produção de cimento Portland de alto forno restringe-se ao Sudeste do país, pois concentra-se nesta região as cinco maiores siderúrgicas à carvão mineral, com exceção apenas de uma fábrica no Amazonas.

¹² BATTAGIN, A.F.(1986). The use of microscopy for estimating the basicity of slags in slag-cement. In: International congress on the chemistry of cement, 8., Rio de Janeiro, 1986. V4.

Argamassas com pozolanas

A mais antiga argamassa hidráulica que se conhece é a obtida pela combinação das cinzas vulcânicas com cal hidratada e areia. Esta argamassa foi empregada pelos romanos e gregos em obras que perduram até os dias atuais, devido ao notável estado de conservação que apresentam.

Na antiguidade os construtores constataram que o gesso e a cal hidratada não resistiam à ação da água após seu endurecimento, e que a adição de solos de origem vulcânica, ou de areias resultantes da fragmentação de certos tijolos e telhas aumentavam a resistência às águas de argamassas de cal, garantindo portanto maior durabilidade às mesmas

Segundo COWPER & BRADY (1981), as argamassas usadas pelos romanos em algumas obras públicas, apresentavam uma boa impermeabilidade à água e um alto poder adesivo. Outras argamassas da mesma época e que tiveram a mesma oportunidade de endurecimento se encontram em estado friável e fraco, e se pulverizam quando a obra sofre uma perturbação qualquer.

Estes antigos construtores para obterem uma maior dureza e durabilidade, usavam uma pozolana com cal extinta, “gorda” ou “hidráulica”.

ALVES (1938) descreve que foram encontradas Pirâmides no Cairo confeccionadas com argamassas constituídas por uma mistura de cal e pozolana artificial.

Também argamassas tiradas de antigos diques dos onze reservatórios de Áden, que remontam à época antes do cristianismo, demonstraram serem feitas com cal e pozolana, provenientes da península de Áden.

Segundo este mesmo autor, foi encontrado uma mistura pozolânica do antigo porto de Pozzuoli, imerso no mar há mais de 20 séculos. A sua boa resistência era perfeitamente idêntica a de uma outra argamassa extraída ao mesmo tempo e que tinha apenas 20 anos.

De acordo com COUTINHO (1958), a confecção de argamassas hidráulicas fez-se quase que exclusivamente com pozolanas até os princípios do século XIX, quando foi inventado o cimento Portland por Louís Vicat em 1824.

A partir desta data as pozolanas foram deixadas de lado, e todas as construções passaram a ser executadas com cales hidráulicas e cimentos artificiais, devido à simplicidade de obtenção industrial.

Atualmente, em virtude das exigências cada vez maiores no setor da construção, juntamente com o custo elevado e algumas propriedades indesejáveis do cimento Portland para certos tipos de obras, têm-se voltado o interesse pelas propriedades das pozolanas.

Existem hoje, além dos idênticos materiais usados durante séculos, várias pozolanas naturais e artificiais de muitas procedências diferentes e largamente distribuídas.

VERÇOSA (1975) observa que os materiais que antes eram empregados conforme encontrados na natureza, passaram a ser trabalhados, buscando assim, atender de maneira mais racional, a uma maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência que superassem os padrões requeridos até então empregados.

Portanto, pode-se especificar atualmente argamassas iguais às aquelas dos antigos romanos em termos de resiliência e resistência.

2.2 – CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS POZOLÂNICOS

A ABNT define materiais pozolânicos através da NBR 5736 (1986):

⇒ Materiais silicosos ou sílico-aluminoso que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias.

Para KIHARA & SHUKUZAWA (1982) a classificação dos materiais pozolânicos é bastante complexa, pois o termo pozolana abrange materiais de naturezas e origens distintas, mas que no entanto, apresentam comportamento semelhante quando são misturados com água e cal.

As pozolanas classificam-se em naturais e artificiais. São naturais aquelas que foram formadas por algum processo da natureza e que em geral necessitam apenas de uma moagem para o seu uso. As artificiais são aquelas obtidas por um processo industrial ou como um sub-produto.

As pozolanas artificiais podem ser subdivididas, de acordo com a norma brasileira NBR 5736, em:

- ♦ argilas calcinadas - Materiais provenientes da calcinação de determinadas argilas que, quando tratadas a temperaturas entre 500°C e 900°C, adquirem a propriedade de reagirem com o Ca(OH)_2 ;

- ◆ cinzas volantes - São resíduos finamente divididos provenientes da combustão de carvão pulverizados e granulados;
- ◆ Outros materiais - São considerados ainda como pozolanas artificiais outros materiais não tradicionais, tais como escórias siderúrgicas ácidas, sílicas ativas, rejeito sílico-aluminoso de craqueamento de petróleo, cinzas de resíduos vegetais e de rejeito de carvão mineral.

A figura 06 mostra a classificação de MASSAZZA (1976) apresentada por ZAMPIERI (1989), que engloba diversos materiais, inclusive os novos materiais (sílica ativa, cinzas de resíduos vegetais e escórias siderúrgicas ácidas) que tiveram recentemente a sua atividade pozolânica comprovada.

Esta classificação, baseada na origem dos materiais pozolânicos, considera como pozolanas naturais apenas os materiais que não requerem tratamentos para modificação da composição química ou mineralógica, e como pozolanas artificiais os subprodutos industriais e materiais resultantes de modificações químicas ou estruturais.

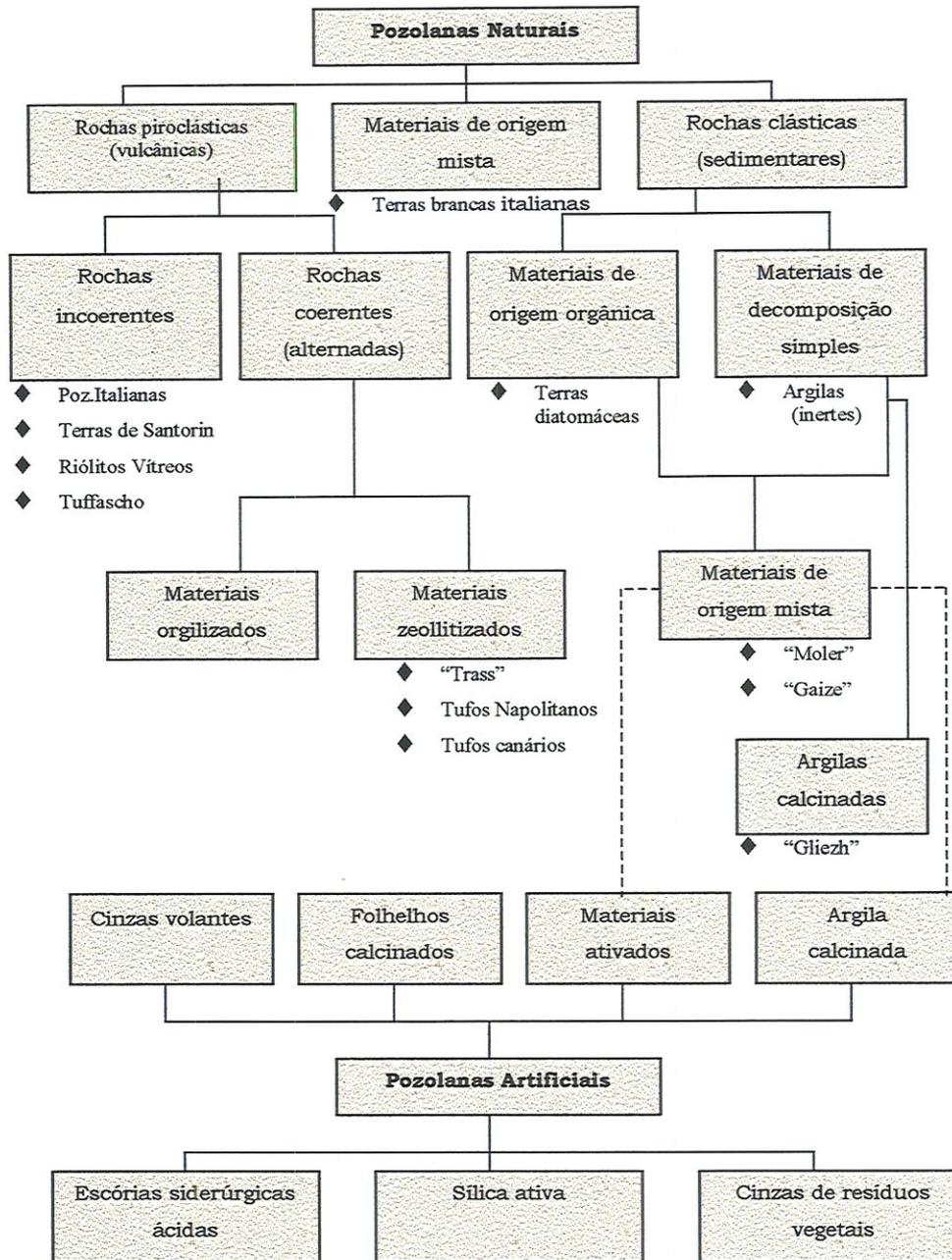


Figura 06 – Classificação dos materiais pozolânicos (ZAMPIERI, 1989)

2.3 - ATIVIDADE POZOLÂNICA

2.3.1 – DEFINIÇÃO

Atividade pozolânica pode ser definida como um fenômeno que, à temperatura ambiente, transforma misturas de cal, pozolana e água em compostos de poder aglomerante.

MASSAZZA (1993) observa que a curto período, a atividade pozolânica está relacionada fundamentalmente à superfície específica e, a longo prazo, ao conteúdo de sílica e alumina reativa da pozolana.

Alguns autores consideram que quanto maior o teor de sílica amorfa, maior a atividade pozolânica. Para DAVIS¹³ apud SOUZA SANTOS (1975), uma pozolana pode ter, no mínimo, 40% de SiO₂, no entanto, SOUZA SANTOS (1975) ressalta que não existe definição quanto ao teor de sílica para que um material possa ser considerado como pozolana.

Cabe salientar que a sílica e alumina são reativas quando suas ligações estruturais são fracas ou destruídas por calcinação ou apresentam materiais amorfos como o vidro, opala, etc.

Na tabela 08 são mostrados os índices de atividade pozolânica com cimento e com cal, e as características físicas e químicas de algumas pozolanas brasileiras.

¹³ DAVIS, R.E. (1949). *A review of pozzolanic materials and their use in concrete*. ASTM Special Publication 99. P.4 apud SANTOS, P.S. (1975). *Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras*. São Paulo, Edgard Blücher.

Tabela 08 – Caracterização física e química de pozolanas (KIHARA&SHUKUZAWA, 1982)

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE POZOLANAS									
Pozolana	Ensaio Físicos					Ensaio Químicos			
	Densidade (g/cm ³)	Finura		Índice de atividade pozolânica		Perda ao Fogo (%)	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
		# 325 (% ret.)	Blaine (cm ² /g)	Com Cimento (%)	Com Cal (kgf/cm ²)				
1. Argila calcinada de Jupia (MS) (650°C)	-	15	-	85	61	8,70	85,96	0,68	-
2. Argila calcinada de Jupia (MS) (750°C)	-	15	-	96	59	8,70	85,96	0,68	-
3. Argila calcinada de Jupia (MS) (850°C)	-	15	-	90	63	8,70	85,96	0,68	-
4. Argila calcinada de João Pessoa (PB)	2,68	18,6	8.380	75	68	1,71	95,18	0,28	-
5. Argila calcinada de Brasília (GO)	2,54	8,8	11.610	112,5	102	6,62	89,21	1,45	-
6. Cinza volante de Santa Catarina	2,12	30,7	8.103	75,4	-	4,12	90,65	0,69	0,60
7. Cinza volante do Rio Grande do Sul-	2,30	7,0	4.100	89	45	0,4	94,5	0,7	traços
8. Cinza volante do Rio Grande do Sul	2,13	16,8	3.700	80,0	42	-	-	-	-
9. Diatomito natural de Jupia (MS)	2,19	11,6	13.700	85,0	73	4,8	92,0	-	-
10. Diatomito calcinado de Jupia (MS)	2,31	12,2	10.200	89,4	87	3,5	94,7	1,7	traços
11. Cinza volante Chicago - U.S.A.	2,50	-	3.200	92	68	0,9	84,4	1,0	1,8
12. Especificações ASTM		Máx. 34		Mín. 75	Mín. 56	Máx. 10,0	Mín. 70,0	Máx. 5,0	Máx. 3,0

Tabela adaptada de Castro Sobrinho

2.3.2 – MECANISMO DA REAÇÃO POZOLÂNICA

KIHARA & SHUKUZAWA (1982) colocam que a atividade pozolânica é devida a uma instabilidade do sistema composto por cal, pozolana e água, que em condições adequadas, causam uma série de reações acompanhadas do endurecimento do sistema, assumindo alta resistência mecânica.

Segundo RUAS (1977), o mecanismo da reação no sistema cal-pozolana-água tem sido estudado por alguns autores. De acordo com estes estudos, a atividade da cal é diretamente relacionada com o grau de reação da pozolana e a pozolanicidade de um material depende das características químicas e estruturais da pozolana.

METHA (1994) ressalta três aspectos importantes da reação pozolânica:

- ◆ a reação é lenta, e portanto a taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência serão conseqüentemente lentas;
- ◆ a reação consome óxido de cálcio, ao invés de produzi-lo, o que representa uma contribuição importante para a durabilidade da pasta endurecida de cimento frente a meios agressivos;
- ◆ os produtos da reação são bastante eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando a resistência e impermeabilidade do sistema.

De acordo com MASSAZZA (1993), as reações entre pozolana e cal basicamente produz os mesmos compostos que são formados durante a hidratação do cimento Portland. As diferenças são mínimas e, em geral, afetam mais a grandeza do que a natureza das fases.

RUAS (1977) explica que durante as reações entre os compostos silicosos e aluminosos de uma pozolana finamente moída com a cal hidratada, formam-se compostos aglomerantes estáveis, em geral, silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e aluminato cálcico hidratado hexagonal (C_4AH_{13}). Em condições específicas é possível encontrar: gehlenita hidratada (C_2ASH_x), etringita ($3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.32H_2O$) e monosulfoaluminato de cálcio ($3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.12H_2O$).

Sobre o mecanismo das reações, ZAMPIERI (1989) afirma que no meio fortemente alcalino das pastas hidratadas de cimento e nas misturas contendo hidróxido de cálcio, as pozolanas encontram-se em forte desequilíbrio físico-químico, proporcionando, na superfície das partículas, a dissolução do alumínio e do silício. Numa etapa posterior, em função da grande disponibilidade de cálcio desse meio, observa-se a cristalização de aluminatos, silicatos e aluminossilicatos e cálcio hidratados, que são produtos típicos da reação pozolânica.

Esses produtos, que inicialmente formam uma película sobre as partículas das pozolanas, começam, após algum tempo, a se desenvolver também nos espaços vazios do material, unindo as várias partículas e possibilitando uma gradual densificação da estrutura e um ganho crescente resistência mecânica.

2.3.3 – EFEITO DAS REAÇÕES POZOLÂNICAS SOBRE A MICROESTRUTURA DAS PASTAS DE CIMENTO

As adições minerais modificam a microestrutura da pasta de cimento, pois ao se combinarem com o hidróxido de cálcio livre resultam numa pasta menos heterogênea, mais compacta e com menor calor de hidratação.

METHA (1994) conclui que existem dois efeitos físicos da reação entre as partículas da pozolana e do hidróxido de cálcio: refinamento do tamanho do poro e refinamento do tamanho do grão¹⁴. Ambos aumentam a resistência da pasta de cimento.

Corroborando as conclusões de METHA (1994), GASTALDINI et al. (1996) ao verificarem a influência das adições minerais na microestrutura das pastas de cimento, constataram que o uso destas adições resultam num aumento no volume de poros de gel e diminuição no volume de poros capilares, ou seja, num refinamento dos poros, além da redução na porosidade total, que resulta em menor permeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade das pastas de cimento, uma vez que restringe os movimentos da água, íons e gases para o seu interior.

De acordo com GASTALDINI et al., a porosidade total e a distribuição de tamanho de poros são função da reatividade da adição, que é dependente, entre outros, da sua composição química e mineralógica, do grau de vitrificação e tamanho da partícula.

Com relação à microtextura dos produtos de reação, ZAMPIERI (1993) a considera como um fator de grande relevância para a definição da resistência mecânica das pastas hidratadas de pozolana e cal.

Desta forma, objetivando determinar as possíveis diferenças de microtextura das pastas hidratadas com três tipos de pozolanas de argila calcinada, este autor realizou ensaios ao microscópio eletrônico

¹⁴ **Refinamento do tamanho do poro** – Processo de transformação de um sistema contendo vazios capilares grandes em um produto microporoso contendo muitos vazios pequenos.

Refinamento do tamanho do grão – Processo de transformação de um sistema contendo grãos grandes de um componente em um produto contendo grãos menores

de varredura. Através destes ensaios constatou-se que a pozolana que apresentava a microtextura mais densa, apesar de combinar o menor conteúdo de Ca(OH)_2 e desenvolver a menor proporção de produtos de reação, apresentava valores mais significativos de resistência mecânica.

Também segundo estes estudos, foi verificado que a incorporação de materiais pozolânicos ao cimento, tem reflexos sobre a constituição e microtextura dos hidratados gerados. Comparativamente ao cimento puro (sem adição de pozolana), verifica-se que os cimentos que incorporam proporções adequadas de materiais pozolânicos tendem a exibir uma microtextura mais densa e uma menor proporção de vazios desenvolvidos.

2.4-AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS MATERIAIS POZOLÂNICOS

Para PRICE (1981) a forma mais segura de se determinar a adequação de qualquer pozolana, é submetê-la a testes em misturas de argamassa e de concreto. Segundo este autor, as especificações para pozolana exigem que seja testada no concreto e na argamassa, com o objetivo de se determinar seu efeito no desenvolvimento da resistência, na água requerida para produzir uma mistura plástica e na redução da expansão álcali-agregado.

LEA (1938) considera que a avaliação do valor pozolânico não deve ser feita por um único método, uma vez que a pozolanidade pode ser devido a diversas causas ou ser mais influenciada por uma destas causas, que são, às vezes, muito diferentes entre si. São também diversas as formas em que pode manifestar-se o fenômeno pozolânico e, em consequência, são variadas as finalidades e aplicações que se deseja obter da ação pozolânica.

Neste sentido, SILVA (1992) ressalta a dificuldade de se avaliar a atividade pozolânica de um material, apesar dos métodos existentes serem particularmente adequados.

ZAMPIERI (1989) comenta sobre alguns destes métodos usados para a avaliação da qualidade dos materiais pozolânicos, os quais serão brevemente explanados a seguir.

Métodos baseados na combinação da cal com a pozolana

A evolução do conteúdo de Ca(OH)_2 com o tempo pode definir a qualidade de uma pozolana, ou seja, quanto mais rápido e intenso for o decréscimo do teor de Ca(OH)_2 , mais reativa será, a princípio, a pozolana.

Com auxílio de aparelhos de análise termodiferencial e termogravimétrica é possível quantificar com razoável precisão o Ca(OH)_2 das pastas ou argamassas contendo pozolana. Cabe salientar que os dados obtidos com este método têm um valor relativo, uma vez que uma dada substância pode reagir com o hidróxido de cálcio sem que no entanto o produto gerado a partir dessa reação apresente qualquer propriedade cimentícia.

Método de Fratini

Este método também se baseia na capacidade de fixação do hidróxido de cálcio pela pozolana, e encontra-se normalizado pela NBR – 5753/80 – Método de determinação da Atividade pozolânica em Cimento Portland Pozolânico.

Os resultados obtidos com este método tem um valor relativo e devem ser aceitos com precaução, contudo, este método permite investigar a compatibilidade entre o cimento e a pozolana considerada.

Métodos fundamentados na medição da resistência mecânica de corpos de prova

De acordo com ZAMPIERI (1989), os ensaios mecânicos apresentam-se como a forma mais adequada de avaliação da reatividade dos materiais pozolânicos, uma vez que para o desenvolvimento da resistência mecânica é necessário a formação de compostos ou fases mineralógicas de propriedades ligantes as quais, por sua vez, só serão geradas se ocorrer uma reação química entre a pozolana e a cal disponível.

Os métodos mecânicos existentes se baseiam em misturas envolvendo cimento Portland ou cal hidratada para avaliação da reatividade das pozolanas.

Neste sentido, existem duas normas brasileiras que prescrevem uma metodologia de ensaio onde a atividade pozolânica é avaliada em misturas com cimento ou cal hidratada: A NBR 5752/77 – Pozolanas: Determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland e a NBR 5751/77 – Cimentos: Método de determinação de atividade pozolânica em pozolanas.

Deve-se salientar que a influência das características físicas e mineralógicas do cimento sobre a qualidade dos resultados pode dificultar a avaliação da qualidade da pozolana, sendo portanto este método mais eficaz para verificar a compatibilidade entre o cimento e a pozolana considerada.

Por este motivo muitos pesquisadores preferem avaliar a qualidade dos materiais pozolânicos em misturas com a cal hidratada. No entanto, este método também deve ser aceito com cautela, uma vez que o sistema pozolana-cal não reproduz fielmente a complexidade das pastas de cimento Portland.

Métodos fundamentados na caracterização mineralógica

Estes métodos avaliam apenas indiretamente a atividade pozolânica, sendo mais utilizado para a seleção e triagem dos materiais disponíveis em cada situação, indicando aqueles sobre os quais deve-se intensificar os estudos.

A análise química como método de controle dos materiais pozolânicos

A análise química serve em alguns casos somente como um meio indireto de avaliação da qualidade da pozolana. Na maioria das vezes, é usada apenas para controlar a uniformidade ou regularidade do jazimento, pouco contribuindo para determinação da reatividade pozolânica do material.

2.5 - POZOLANAS DE ARGILA CALCINADA

2.5.1 - GENERALIDADES

As pozolanas de argila calcinada são produtos artificiais obtidos através da calcinação adequada de materiais argilosos.

As argilas, por serem encontradas em quase todas as regiões do Brasil, apresentam-se como um dos materiais mais promissores para serem utilizados como pozolanas. Além disso, as pesquisas desenvolvidas no campo da cerâmica e na fabricação de pozolanas para uso em obras de grande porte contribuem para difundir o uso destes materiais. Contudo, economicamente a argila pode ter o seu uso limitado, pois necessita de energia térmica para desenvolver as características pozolânicas.

As argilas que podem ser utilizadas como pozolanas são as caulínicas ou montmoriloníticas, podendo também argilominerais menos comuns, como paligorsquita, serem utilizados.

De acordo com ZAMPIERI (1989), o desenvolvimento das propriedades pozolânicas dos materiais argilosos é função principalmente da natureza e conteúdo do argilomineral presente, das condições de calcinação e da finura do produto.

Com relação às propriedades de argamassas e de concretos produzidos com pozolanas de argilas calcinadas, estas podem, segundo SOUZA SANTOS (1975), variar em função da composição química e mineralógica destas pozolanas e do tratamento térmico e do processamento a que a pozolana foi submetida antes do uso.

Percebe-se, de acordo com os dados levantados e que serão mostrados nos itens a seguir, que as argilas apresentam variadas condições geológicas de formação, diferenças consideráveis nas propriedades físico-químicas e ainda variação na composição mineralógica, o que leva a distintas propriedades tecnológicas para as várias indústrias que empregam argila.

2.5.2 - MINERAIS ARGILOSOS

2.5.2.1 – Definição e classificação

De acordo com KIHARA & SHUKUZAWA (1982), a argila é um material natural, terroso, de granulação fina, constituído essencialmente por uma mistura de diversos argilominerais, ou por um único argilomineral.

Os três argilominerais - caulinita, montmorilonita e ilita, juntamente com hidróxido de alumínio, óxidos e hidróxidos de ferro, sílica e feldspato são os minerais mais frequentemente encontrados em argilas. São encontrados ainda outros materiais e minerais como: matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros materiais residuais, como também minerais não-cristalinos ou amorfos.

Segundo SOUZA SANTOS (1975), os argilominerais constituintes das argilas têm dimensões bastante reduzidas e se apresentam em estado preferencialmente cristalino; quimicamente são alumino-silicatos hidratados, contendo certos tipos de outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, potássio, sódio, etc; após a moagem, formam com água uma pasta mais ou menos plástica, que endurece após secagem ou um processo de queima.

De acordo com FERREIRA (1972), as argilas utilizáveis como pozolanas podem ser definidas segundo os argilominerais constituintes das mesmas:

argilas cauliníticas (caulins) - são argilas geralmente constituídas por argilominerais do grupo da caulinita, podendo ocorrer, principalmente no sul do Brasil, a presença do argilomineral haloisita;

argilas montmoriloníticas - são argilas constituídas por um ou mais argilominerais do grupo da montmorilonita ou esmectita;

argilas ilíticas - são argilas constituídas por argilominerais do grupo da illita, frequentes nos folhelhos argilosos.

A classificação das argilas pode ser feita com bases geológicas e/ou tecnológicas.

Baseado na origem geológica, as argilas são denominadas argilas primárias ou residuais quando ocorrem no lugar em que se formaram a partir da rocha matriz; ou argilas secundárias, sedimentares ou transportadas, cujos depósitos se formaram a distâncias apreciáveis do local de formação a partir da rocha matriz.

Segundo SOUZA SANTOS (1975), o “Bureau of Mines” dos Estados Unidos classifica as argilas em :

a - caulins (*china - clays*); b - argilas plásticas para cerâmica branca (*ball-clays*); c - argilas refratárias (*fire clays*), incluindo argilas para louça (*stoneware clays*); d - betonitas; e - terras fuller; f - argilas diversas.

Alguns autores identificam as argilas pela localidade de onde foram extraídas ou pelos países de origem.

Outros autores preferem, devido a complexidade das argilas, em vez de classificar as mesmas, classificar os argilominerais. Convém salientar que a classificação e a nomenclatura de uma argila não devem ser confundidas com a classificação e nomenclatura dos argilominerais constituintes das mesmas.

De acordo com NORTON (1896), para uma completa avaliação do uso tecnológico das argilas, deve-se levar em consideração o conhecimento da composição química das mesmas em conjunto com o conhecimento das propriedades físicas, o que proporciona informações necessárias para a avaliação de seus usos específicos.

2.5.2.2 – Formação dos argilominerais e argilas

As argilas são consideradas rochas originadas da decomposição de outras rochas ou minerais.

Conforme ZAMPIERI (1989), os argilominerais são provenientes da alteração de uma grande variedade de rochas, principalmente por aquelas que apresentam grandes quantidades de silicatos de alumínio, seja pela ação dos processos intempéricos, seja em consequência de processos hidrotérmicos de baixa temperatura.

Neste processo de decomposição das rochas para formação de argilas, formam-se argilominerais, que podem sofrer transformações, formando novos argilominerais ou outros minerais.

Segundo SOUZA SANTOS (1992), existem muitos depósitos de argilas considerados de “argilas puras ou quase puras”, devido à natureza da

rocha ou dos minerais dos quais as argilas se formaram ou, algumas vezes, devido às reações químicas ocorridas, aos processos de transporte, de lixiviação e de separação.

Esses depósitos podem conter um argilomineral como componente predominante, com pequenos teores de outros argilominerais, bem como de outras impurezas minerais, tais como areia de quartzo, micas minerais de ferro e titânio, e rochas não decompostas.

De acordo com ZAMPIERI (1989), os jazimentos argilosos usados na produção de pozolanas são depósitos de superfície, mais frequentemente de idade quaternária ou recente, apesar de sedimentos argilosos geologicamente mais antigos serem também utilizados em alguns regiões. Estes depósitos são normalmente originados da alteração intempérica de rochas de origem diversas.

2.5.3 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICO-MECÂNICAS DAS POZOLANAS DE ARGILA CALCINADA

Todas as pozolanas de argila calcinada têm em comum um elevado teor de Al_2O_3 e SiO_2 , que dá a estes materiais uma característica ácida e uma grande afinidade pela cal.

Segundo LEA (1938), a composição química de argilas utilizadas para pozolanas geralmente apresenta valores de SiO_2 entre 50% e 65% e Al_2O_3 entre 17% e 38%, sendo que a atividade pozolânica aumenta com o teor deste último. Esse fato sugere a formação de um composto de alumínio, provavelmente um aluminato cálcico.

RUAS (1977) observa que o mais coerente seria que quanto maior a percentagem de sílica de um material, melhor seria sua atividade

pozolânica, entretanto, existem boas pozolanas apenas com 40% de SiO₂.

A ASTM: C 618-85 fixa alguns limites químicos para as argilas calcinadas:

SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₂	-	Mín. 70%
SO ₃	-	Máx. 4%
Umidade (água livre)		Máx.3%
Perda ao fogo	-	Máx.10%
Álcalis disponíveis	-	Máx.1,5%
(equiv. em Na ₂ O)		

Segundo RUAS (1977), a composição química não é suficiente para avaliar a atividade de uma pozolana, pois há muitos tipos de materiais pozolânicos, cada um dos quais variando quanto às suas características, sendo bem complexos os processos físico-químicos que envolvem as reações pozolânicas.

A tabela 09 apresenta a composição química de algumas argilas para emprego como pozolana.

Tabela 09 - Análise química de argilas para pozolanas
(KIHARA & SHUKUZAWA, 1982).

Argilas	P.F	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Brasília	6.62	62.96	19.51	6.74	1.24	1.45	0.07	0.10
João Pessoa	1.71	75.95	15.49	3.74	2.62	0.28	0.26	0.48
Jupia(MS) A	0.79	68.60	20.00	5.42	1.80	0.69	-	-
Jupia(MS) B	1.02	69.71	20.14	5.41	1.41	0.81	-	-

Sobre a influência da finura na reatividade dos materiais pozolânicos, ZAMPIERI (1989) afirma que ao se incrementar a finura tem-se conseqüentemente um aumento da área de reação do material.

ZAMPIERI ainda comenta, com base em dados levantados em sua pesquisa, que o aumento da finura e, conseqüentemente da área de reação das pozolanas de argila calcinada, proporciona benefícios nos índices de atividade pozolânica. Aparentemente, em função destes dados levantados, as pozolanas de argilas calcinadas exigem finuras mínimas da ordem de $7000\text{cm}^2/\text{g}$ para manifestarem mais intensamente as suas propriedades pozolânicas.

A figura 07 mostra os resultados encontrados por SCANDIUZZI & ANDRIOLO (1981) referentes à atividade pozolânica e à água de amassamento para igual trabalhabilidade de uma pozolana de argila calcinada à medida em que se variou a sua finura.

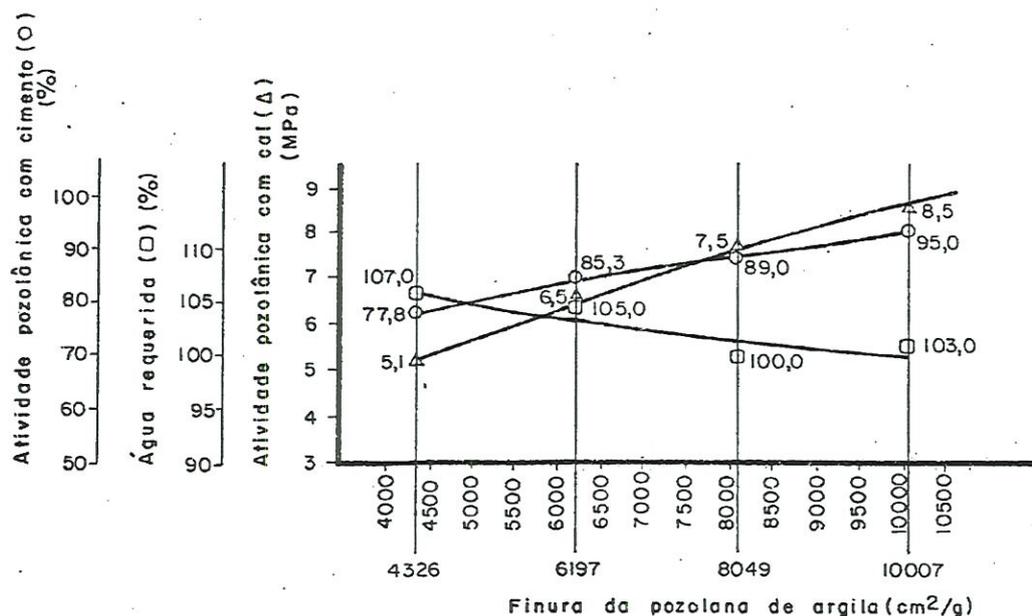


Figura 07 - Evolução dos valores de atividade pozolânica e da água de amassamento para igual trabalhabilidade de uma pozolana de argila calcinada em função de sua finura (SCANDIUZZI & ANDRIOLO, 1981).

O quartzo quando associado às pozolanas é prejudicial, não apenas por sua elevada dureza, mas também por reduzir a atividade pozolânica. Neste sentido, ZAMPIERI (1989) descreve que para iguais níveis de finura, as pozolanas mais quartzosas exibem uma reatividade menor, devido ao caráter pozolanicamente inerte dessa fase mineralógica.

De acordo com PRICE (1981) a composição química e as informações obtidas através de exame petrográfico, difração por raio-X e métodos de análise termo-diferencial podem dar uma indicação da pozolanicidade do material.

Na tabela 10 encontram-se os resultados físico-mecânicas de algumas pozolanas de argilas brasileiras, onde pode-se observar os índices de atividade pozolânica com a cal e o cimento.

Tabela 10 – Características físico-mecânicas de algumas pozolanas de argilas Brasileiras (ZAMPIERI, 1989)

Origem da pozolana	Massa específica (g/cm ³)	Finura		Índice de atividade Pozolânica	
		% retida # 325 mesh (44 µm)	Finura "Blaine" (g/cm ²)	Com a cal (MPa)	Com Cimento (%)
Jupia-MS	2,60	13,2	6500	6,4	80
Jupia-MS	2,53	11,6	7841	7,7	87
Jupia-MS	2,53	7,10	9170	8,9	93
PB	2,70	9,9	7350	7,4	n.d
PB	2,68	18,6	8380	6,8	75
PB	2,68	16,1	n.d	8,8	76
PE	2,61	33,0	6530	n.d	75
PE	2,64	22,9	11000	7,4	95
PE	2,59	11,8	12725	8,10	108
PE	2,64	20,3	8400	9,5	96
PE	2,73	11,4	n.d	10,5	97
PR	2,56	12,4	9145	8,9	n.d
PR	2,51	12	16063	11,3	122
Especificações ASTM	-	Máx. 34%	-	Mín. 5,5	Mín. 75%

2.5.4 – ATIVAÇÃO TÉRMICA DAS POZOLANAS DE ARGILA

De acordo com os estudos desenvolvidos por ZAMPIERI (1989), as argilas cauliníticas são as mais propícias à fabricação de pozolanas, cujas propriedades pozolânicas são induzidas a partir de 500°C. A temperatura de calcinação ótima, segundo SOUZA SANTOS (1975), está na faixa de 700°C a 900°C, quando é gerada a metacaulinita, composto de elevada superfície específica e grande atividade química.

Mineralogicamente, ZAMPIERI (1989) descreve que a ativação térmica das argilas representa a introdução de modificações e desarranjos na

estrutura dos argilominerais, que ao final se manifestam pela perda de sua água de cristalização e pela formação de um material atômicamente desarranjado, com alto grau de desordem cristalina.

Este autor ainda ressalta que o superaquecimento das argilas à temperatura de 920°C a 1000°C provoca uma recristalização com formação de compostos estáveis, diminuindo quase que totalmente a atividade química. Portanto, o controle da temperatura tem um papel importantíssimo na fabricação de pozolanas.

Pesquisadores do Instituto Nacional de Ciências Aplicadas (INSA) de Lion na França desenvolveram estudos sobre o processo de ativação das pozolanas de argila (MURAT, 1983a, 1983b; MURAT & COMEL, 1983; MURAT & AMBROISE & PERA, 1986).

Estes autores, com o propósito de obter cimentos pozolânicos a partir do emprego de argilas e energia solar, estudaram as reações de hidratação e endurecimento das argilas calcinadas com o hidróxido de cálcio. Através das pesquisas desenvolvidas, foi possível verificar que existe, além de uma temperatura ótima de ativação dos argilominerais, uma relação pozolana/cal mais adequada para o desenvolvimento das resistências mecânicas.

Também foi constatado experimentalmente por estes pesquisadores, que a relação água/sólido adotada nas pastas de pozolana e cal interfere na resistência mecânica do produto, pois à medida em que se adiciona água à mistura de pozolana e cal há uma redução nos valores de resistência mecânica, visto que a água em excesso contribui apenas para o aumento da porosidade final.

2.5.5 - PRODUÇÃO DAS ARGILAS CALCINADAS

Com relação ao processo de fabricação da pozolana, apresenta-se a seguir, com base na descrição feita por ANDRIOLO (1975), o processo de produção executado na barragem de Jupuíá, adotada como modelo, salientando-se que cada empresa, em particular, faz as adaptações necessárias a seu caso:

- ◆ os materiais argilosos são extraídos com o auxílio de tratores e pás-carregadeiras e, a seguir, transportados em caminhões para pilhas de homogeneização e pré-secagem ao tempo; quando necessário, sofrem um processo de redução granulométrica e são enviados via correia alimentadora, para fornos de calcinação, os quais operam a temperatura da ordem de 700°C a 800°C;
- ◆ os fornos empregados para a ativação dessas argilas são fornos rotativos de grandes dimensões, originalmente concebidos para a produção de clínquer Portland;
- ◆ após o processo de queima, o material apresenta-se na forma de nódulos subcentimétricos a centimétricos, sendo armazenados em grandes pilhas até o momento da moagem; as pozolanas são cominuídas em moinhos de bolas, juntamente com o clínquer ou isoladamente. Neste último caso, são encaminhadas para silos especiais de armazenamento, para posterior comercialização.

De acordo com a ABCP (1983), algumas empresas usam os fornos de clínquer para efetuar a queima da argila, e em casos de fornos de clínquer ociosos obtém-se uma economia considerável para as empresas que pretendem produzir pozolana artificial. No entanto, é

mais viável empregar um calcinador especificamente projetado para esta tarefa, caso a empresa não disponha de fornos ociosos.

Conforme as conclusões dos estudos realizados pela ABCP, há redução de consumo energético na produção de pozolanas, e ainda fica mais econômico para a empresa investir em instalações especiais para calcinar a argila do que em forno de clinquerização.

2.6 - ESCÓRIA DE ALTO FORNO

2.6.1 - GENERALIDADES

A escória de alto forno é o subproduto da fabricação do gusa dos altos-fornos das usinas siderúrgicas, sendo composta por aluminossilicatos de cálcio sob a forma vítrea, formados a partir da ganga do minério de ferro, das cinzas de coque e das adições dos diferentes fundentes.

Como cita VENUAT (1977), a escória pode ser empregada entre outros fins, para fabricação de concreto leve, como ligantes na construção de estradas e como adição ao cimento. Além das vantagens que proporciona quando usada para os fins citados, o uso da escória ainda ajuda a preservar o meio ambiente, através do aproveitamento de rejeitos industriais poluidores, evitando que fiquem acumulados nas siderúrgicas, sem destinação.

A partir de estudos experimentais, MARQUES (1994) e SILVA et al. (1991) constataram que a escória possui elevado poder aglomerante e quando moída e ativada adequadamente pode ser aproveitada como aglomerante para argamassas e concretos. Inclusive, os resultados dos ensaios realizados por MARQUES (1994) em argamassas,

mostram resistências mecânicas elevadas em relação às argamassas preparadas apenas com cimento Portland.

Este autor cita, a partir de seu estudo bibliográfico, os efeitos do uso da escória quando adicionadas ao cimento Portland, sendo também extensivo às argamassas de cimento Portland:

- ◆ minimização da reação expansiva álcali-agregado;
- ◆ baixo calor de hidratação;
- ◆ menor permeabilidade;
- ◆ menor carbonatação
- ◆ melhor resistência ao ataque de agentes agressivos;
- ◆ maior resistência em idades mais avançadas.

Salienta-se, segundo NEVILLE (1997), que no caso da carbonatação, a escória ao reagir com o Ca(OH)_2 reduz a quantidade deste elemento e com isto o CO_2 não se fixa na superfície do concreto não formando carbonato de cálcio para colmatar os poros, de modo que a profundidade de carbonatação poderá ser maior. No entanto, a baixa permeabilidade impede um aumento continuado na profundidade de carbonatação.

Quantidades elevadas de escória podem reduzir as resistências iniciais, no entanto, aumentando-se o grau de finura da escória e empregando uma escória mais reativa pode-se obter um aumento nestas resistências iniciais, o que se deve às necessárias reações químicas ocorrentes.

Estudos realizados por ESPER (1993) e MARQUES (1994) comprovam que a escória de alto forno por si só pode constituir-se num aglomerante hidráulico, no entanto, como sua hidraulicidade é lenta,

há necessidade de um ativador químico ou físico, para acelerar o processo.

Entre os ativadores químicos, estão o hidróxido de sódio (NaOH), o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e os sulfatos (SO₄⁻²).

SILVA et al. (1991) ao desenvolverem no IPT pesquisas sobre a potencialidade hidráulica da escória de alto forno granulada em argamassas usando a cal hidratada como ativador, evidenciaram uma tendência de crescimento da resistência à compressão em misturas com teores superiores a 20% de ativador.

Sobre a ativação física, esta está relacionada ao aumento da área específica e da temperatura que, segundo MARQUES (1994), são fatores que alteram a velocidade de hidratação e quantidade de escória hidratada.

As propriedades hidráulicas das escórias podem ser avaliadas através de métodos baseados na análise química, estrutura e hidratação e ainda através de métodos mecânicos, objetivando controlar a qualidade da escória. Tais métodos são abordados nos estudos desenvolvidos por VENUAT (1977), MARQUES (1994), BATTAGIN (1988), GASTALDINI (1989).

Sobre a forma e dimensões das escórias, VENUAT (1977) comenta que as mesmas devem se apresentar sob a forma de grãos porosos, com alguns milímetros de dimensão e aspecto ligeiramente porcelânico (início de vitrificação), não devendo ser espumosas, friáveis à mão e nem conter muita água.

2.6.2 - COMPOSIÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

BATTAGIN (1983) destaca que o tipo de minério e dos fundentes e ainda o produto fabricado interferem na composição química das escórias.

Ainda para BATTAGIN, a análise química é eficaz para caracterizar a escória, e neste sentido, algumas pesquisas foram realizadas com o objetivo de correlacionar a composição química da escória e o desenvolvimento das propriedades hidráulicas. No entanto, este autor salienta que a análise química não é indicada para a avaliação da qualidade hidráulica de escórias de diferentes origens, se prestando mais para uma avaliação da qualidade de escórias de mesma origem.

De acordo com VENUAT (1977) a composição das escórias varia dentro dos seguintes limites:

- ◆ CaO – 35 a 40%
- ◆ SiO₂ – 30 a 35%
- ◆ Al₂O₃ – 10 a 20%
- ◆ MgO – 1 a 10%

Com relação às escórias brasileiras de natureza básica empregadas na indústria cimenteira, BATTAGIN (1987) destaca a composição químicas das mesmas:

- ◆ CaO – 40 a 45%
- ◆ SiO₂ – 30 a 36%
- ◆ Al₂O₃ – 12 a 17%
- ◆ MgO – 2 a 8%

Com relação à norma NBR-5735 (1991), as escórias são consideradas apropriadas para utilização em cimento quando a composição

química obedece a seguinte relação: $(CaO + MgO + 1/3 Al_2O_3/SiO_2 + 2/3 Al_2O_3) > 1$.

As bases de cal e magnésio são favoráveis; no entanto, uma escória de baixa basicidade, apresentando um teor elevado de alumínio, pode ser excelente. De acordo com GASTALDINI (1989), as escórias ácidas, necessitam maior finura de moagem para apresentarem grau de hidraulicidade compatíveis, quando comparadas às escórias básicas.

SILVA et al. (1991) utilizam índices químicos para distinguir entre escórias básicas e ácidas, a partir do valor da relação $CaO/SiO_2 (P_1)$ e $CaO + MgO/SiO_2 (P_2)$. São escórias básicas quando P_1 e $P_2 > 1$ e escórias ácidas quando P_1 e $P_2 < 1$.

A tabela 11 apresenta a composição química de algumas escórias brasileiras.

Tabela 11 – Composição química de escórias brasileiras (BATTAGIN,1987)

Componentes (% em massa)	Usiminas (MG)	Cosipa (SP)	CSN (RJ)	Barra Mansa (RJ)	Belgo Mineira (MG)	Usipa (MG)	CST (ES)	Açominas (MG)
SiO ₂	35,15	33,85	32,90	40,59	38,12	43,97	35,47	35,59
Al ₂ O ₃	12,79	13,00	15,44	15,39	19,44	13,21	13,20	13,88
CaO	43,58	42,22	40,97	34,12	34,97	34,89	41,97	40,99
Fe ₂ O ₃	0,37	0,68	0,91	1,95	1,30	0,40	0,83	1,97
FeO	0,29	0,33	0,43	0,87	0,79	0,22	–	–
MgO	5,48	7,08	5,81	3,96	1,63	3,67	5,69	6,31
K ₂ O	0,45	0,70	0,73	1,29	1,88	1,86	0,28	0,49
Na ₂ O	0,13	0,21	0,19	0,30	0,12	0,12	0,10	0,12
TiO	0,54	0,48	0,49	0,74	0,62	0,16	0,53	–
Mn ₂ O ₃	0,88	0,69	0,86	3,50	1,86	0,85	0,84	–
SO ₃	0,05	0,12	–	0,05	0,02	0,02	0,07	–
S	1,10	0,67	1,03	0,11	0,10	0,07	0,87	0,87
Fe	0,07	0,13	0,25	0,40	0,37	0,21	–	–
Natureza da escória	Básica	Básica	Básica	Ácida	Ácida	Ácida	Básica	Básica

Para MARQUES (1994), pode-se aumentar a reatividade pozolânica da escória com o aumento da basicidade, do conteúdo de SiO_2 e Al_2O_3 solúveis no ácido, da tensão estrutural e conteúdo de CaO . A superfície específica e a distribuição do tamanho de partícula da escória também podem ter influência na reatividade pozolânica.

2.6.3 - PRODUÇÃO DAS ESCÓRIAS DE ALTO FORNO

Como já mencionado, a escória é um subproduto da indústria siderúrgica, obtida a partir da fabricação do ferro gusa dos altos fornos. De acordo com MARQUES (1994), cada 1 tonelada de ferro gusa produzidos gera cerca de 300kg a 400kg de escória. A quantidade de escória produzida varia em função do teor em ferro do minério utilizado. Com teores elevados de ferro a quantidade de escória produzida é menor, o que ocorre no Brasil, onde os minérios têm em média 67% de ferro.

As principais siderúrgicas fornecedoras de escórias localizam-se em São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Belo Horizonte, limitando-se portanto à estas regiões o uso deste material, uma vez que os custos de transporte a longa distância inviabilizam economicamente o seu emprego em outras partes do País.

A figura 09 mostra o esquema de produção das escórias de alto forno; na parte inferior do alto forno, a escória e a gusa se separam e vão para o exterior, e na saída do alto forno, a escória pode ser tratada de diversas maneiras, de acordo com a aplicação a que se destina.

No caso da escória utilizada pela indústria cimenteira, o tratamento empregado é o de resfriamento brusco em água, onde se obtém uma areia vítrea de aproximadamente 0.2mm, com densidade aparente da

ordem de 1.0 g/cm^3 e cor esbranquiçada, amarelada, acinzentada ou acastanhada.

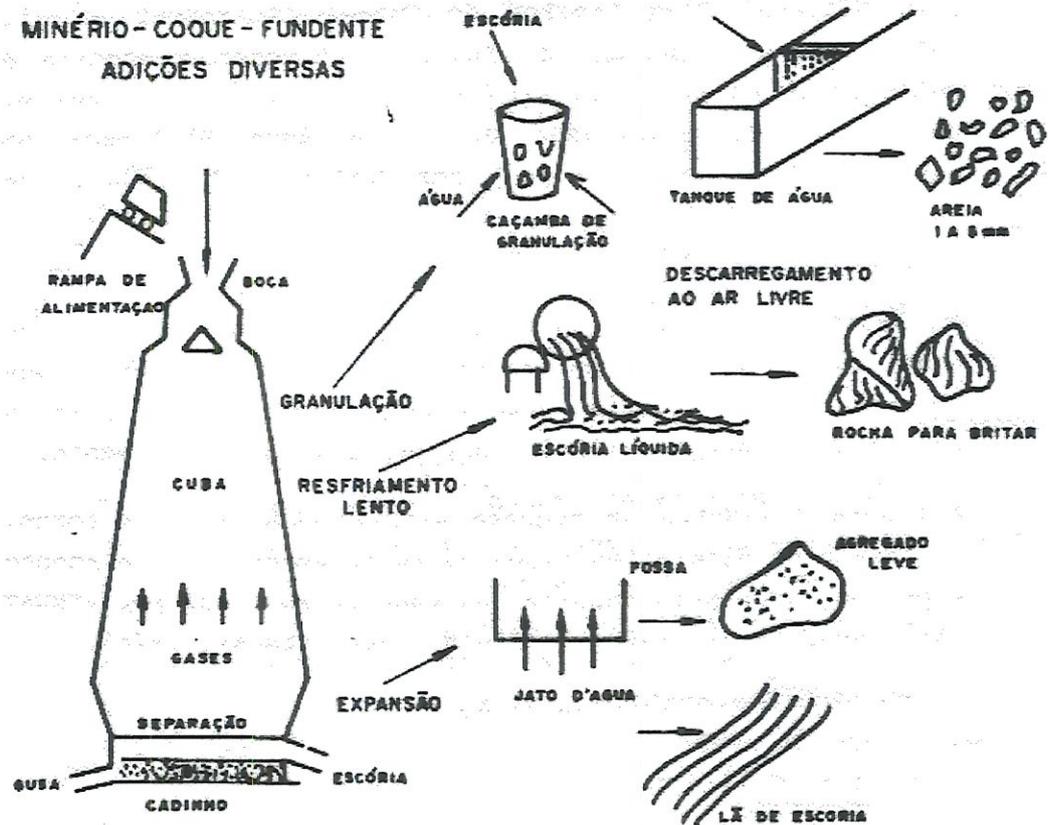


Figura 08 - Esquema de produção das escórias de alto forno (MARQUES, 1994)

Conforme VENUAT (1977), os altos fornos mais modernos são automatizados e controlados, o que beneficia a produção da escória, inclusive novos métodos de granulação estão sendo empregados, melhorando a granulação da escória.

Neste sentido, MARQUES (1994) cita um outro processo de granulação desenvolvido pelo "NATIONAL SLAG LIMITED" do Canadá, onde a escória é peletizada na saída do alto forno em grandes tambores, resultando em diferentes frações do material. As menores

frações que apresentam maior conteúdo de vidro, são as mais adequadas para a fabricação do cimento Portland de alto forno.

De acordo com VENUAT (1977), as propriedades hidráulicas das escórias produzidas por este processo são análogas às das escórias granuladas tradicionais, com a vantagem do menor consumo de água e da pequena umidade residual.

Pelos dados apresentados por ESPER (1993), a maior parte das escórias de alto forno produzidas no Brasil são granuladas, atingindo um índice de 100% para as grandes cinco siderúrgicas e um índice médio geral de aproximadamente 90%.

Conforme relata BATTAGIN (1988), o alto grau de vitrificação das escórias brasileiras utilizadas na indústria cimenteira resulta das condições satisfatórias de resfriamento na saída do alto forno. Como cita ESPER (1993), quanto mais rápido for este resfriamento, maior o grau de vitrificação e maiores as potencialidades hidráulicas das escórias. No entanto, para alguns autores a obtenção da máxima reatividade de uma escória não está apenas condicionada a vitrificação total, mas também a uma elevada relação $\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.

2.7 - CAL POZOLÂNICA E SEU USO EM ARGAMASSAS

A cal pozolânica, de conceito pouco divulgado atualmente, foi utilizada há muito tempo pelos romanos e mais recentemente em construções alemães, após a 2ª Guerra Mundial.

Conforme GIBBONS (1998), os materiais pozolânicos são encontrados em argamassas de cal usadas em antigos edifícios e monumentos, e segundo este autor, nos dias atuais, quando o requisito conservação

é exigido, as novas argamassas têm a obrigação de se igualarem a estas antigas argamassas, de forma a garantir que as novas construções sejam visualmente e fisicamente compatíveis com as antigas.

Segundo BAUER (1985), a cal pozolânica é um aglomerante pouco usado atualmente, daí as informações sobre este aglomerante serem insuficientes, o que dificulta o entendimento sobre o que se deva compreender como sendo uma cal pozolânica.

Alguns autores definem a cal pozolânica como um aglomerante que pode ser obtido a partir da mistura composta de cal hidratada com pozolana, ou também, como um aglomerante resultante da calcinação, em temperaturas da ordem de 1000°C, de calcários, com certo teor de impurezas (argilas).

Para VOROBYEV (1962) as cales pozolânicas contêm de 10% a 30% de cal e 70% a 90% de pozolana, cujo endurecimento resulta da relação entre a cal e a sílica ativa da adição.

Como cita GIBBONS, a adição de pozolanas em algumas argamassas de cal podem modificar suas características, e dependendo do tipo de pozolana escolhida, a densidade e resistência à compressão das argamassas podem ser aumentadas e a porosidade reduzida. Materiais pozolânicos como tijolos e argilas cozidas a menos de 950°C poderão produzir argamassas mais flexíveis e permeáveis.

Sobre a influência da proporção de cal na resistência das pastas e argamassas com pozolanas, COUTINHO (1958) afirma que uma propriedade importante das pozolanas é a sua diferente reatividade para a cal, que dá lugar a resistências que variam com a proporção em que se juntam a esta. Este fato deve ser considerado quando se

procede a confecção de argamassas de cal e pozolana, pois se um traço é ótimo com uma dada pozolana, o mesmo pode não acontecer com outra.

COWPER & BRADY (1981) afirmam que o efeito da pozolana ao se combinar com a cal para formar silicatos e aluminatos insolúveis é devido ao poder que as misturas pozolânicas têm de reagirem na água em ausência do dióxido de carbono do ar atmosférico. Portanto, segundo estes autores, as argamassas com cal e pozolanas podem desenvolver altas resistências sob a água, em locais onde a argamassa pura de cal não reagiria.

COUTINHO (1958) ressalta que quando estas argamassas são conservadas ao ar livre ocorre uma queda progressiva na sua resistência mecânica¹⁵, contudo, esta queda das resistências pode ser evitada com o uso de cimento nas argamassas.

Segundo GIBBONS (1998), o uso de pozolanas em argamassas de cal é uma prática corrente baseada na história e experiências práticas, suportadas por algumas pesquisas recentes, como o trabalho desenvolvido pela “ENGLISH HERITAGE” e “BRE” intitulado de “Smeaton Project”. Este autor ainda salienta que o uso de pozolanas em concretos e em argamassas de cimento Portland é mais frequente do que em argamassas de cal, no entanto os trabalhos sobre o efeito das pozolanas nos concretos e cimentos contêm informações que podem ser aproveitadas para estudos sobre argamassas com cal.

No Brasil a cal pozolânica tem sido objeto de estudos recentes, onde podem ser destacados os trabalhos de: (SILVA, 1992); (LIMA, 1993); (MOTA, 1994); (MOTA, et al., 1994); (GALVÃO et al., 1994).

15

Este fato é mais acentuado quando se usa pozolanas naturais

SILVA (1992), através de determinações de resistência à compressão simples em argamassas padronizadas pela ABNT, fez um estudo comparativo do desempenho de aglomerantes tradicionais e aglomerantes alternativos, produzidos a partir de misturas em diversas proporções de: cal/pozolana; cal/cimento Portland pozolânico; cal/cimento Portland comum; cal/cimento Portland pozolânico/pozolana artificial.

Com base nos resultados de sua pesquisa, esta autora acredita ser a cal pozolânica um material de uso promissor, uma vez que apresenta maior possibilidade de controle das matérias-primas envolvidas, além de apresentar menor custo quando comparada com a cal hidráulica, devido às baixas temperaturas de processamento.

LIMA (1993) desenvolveu pesquisas sobre as propriedades caracterizantes e de engenharia das cales pozolânicas, tanto de forma isolada como na confecção de argamassas. O estudo permitiu concluir que as pozolanas proporcionam vantagens no desempenho mecânico quando misturadas em proporções adequadas, sendo promissor o seu uso em obras de construção civil.

MOTA et al. (1994) estudaram argamassas alternativas, partindo de traços, em volume, de argamassas mistas convencionais, estimando por tentativa novos traços de argamassas alternativas quando da substituição da cal hidratada por cal pozolânica e conseqüente redução da proporção de cimento Portland. A tabela 12 indica os resultados desta pesquisa para chapisco, reboco e para argamassa de assentamento.

Nas pesquisas desenvolvidas por SILVA (1992), LIMA (1993) e MOTA (1994) foi constatado ótimo desempenho mecânico das argamassas de cal e pozolana, o que permite concluir que, quando se utiliza

composições adequadas de cal-pozolana em argamassas, pode-se obter resistências mecânicas elevadas.

Tabela 12 – Traços para argamassas alternativas, em volume, equivalentes aos traços de argamassas convencionais (MOTA et al., 1994)

	Traço	Proporção	Materiais
C1	Conv.	1:1:10	Cimento:cal:areia grossa
	Alt.	0,83:1:10	Cimento:cal poz.:areia grossa
C2	Conv.	1:1:6	Cimento:cal:areia grossa
	Alt.	0,62:1:6	Cimento:cal poz.:areia grossa
A1	Conv.	1:4:28	Cimento:cal:areia média
	Alt.	0,45:4:28	Cimento:cal poz.:areia média
A2	Conv.	1:4:32	Cimento:cal:areia média
	Alt.	0,42:4:32	Cimento:cal poz.:areia média
R1	Conv.	1:4:20	Cimento:cal:areia fina
	Alt.	0,22:4:20	Cimento:cal poz.:areia fina
R2	Conv.	1:4:24	Cimento:cal:areia fina
	Alt.	0,21:4:24	Cimento:cal poz.:areia fina
R3	Conv.	1:2:9	Cimento:cal:areia fina
	Alt.	0,29:2:9	Cimento:cal poz.:areia fina

Obs: Conv. – Convencional
Alt. – Alternativo

C - Chapisco
A - Assentamento
R - Reboco

Estudos comparativos sobre o comportamento mecânico de cales pozolânicas com variação da relação água/cimento foram desenvolvidos por GALVÃO et al. (1994). Os resultados obtidos indicam um desempenho satisfatório das cales pozolânicas, o que gera boa perspectiva para o uso deste material na construção civil.

NEVES et al. (1994) desenvolveram estudos com o objetivo de verificar a evolução da resistência à compressão simples de

argamassas cal-pozolana-areia e cal-areia. Os resultados desta pesquisa encontram-se na tabela 13.

Tabela 13 – Resistência à compressão simples de diversos traços de argamassas com relação água/aglomerante igual a 0,70 (NEVES et al., 1994)

Traços	Resistência à compressão simples (MPa)					
	Cal-pozolana-areia			cal-areia		
	7 dias	28 dias	60 dias	7 dias	28 dias	60 dias
1:3	5,16	7,52	8,90	0,70	1,73	2,70
1:5	3,28	5,85	6,86	0,48	1,66	2,04
1:7	2,23	3,86	4,93	0,38	1,23	1,43
1:9	1,30	1,98	2,26	0,35	0,69	0,92
1:11	1,09	1,40	1,63	0,27	0,55	0,76
1:13	0,93	1,04	1,17	0,14	0,45	0,61
1:15	0,56	0,55	0,80	0,06	0,40	0,51

SOUZA et al. (1996) desenvolveram estudos visando otimizar o desempenho mecânico das cales pozolânicas através de um estudo detalhado no proporcionamento de seus componentes. Os resultados dos ensaios da resistência à compressão obtidos na pesquisa encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 – Resistência à compressão simples das cales pozolânicas para tempos de cura de 7, 28 e 60 dias (SOUZA et al., 1996)

Amostras -cal-	Tempo de cura (dias)	Resistência à compressão (MPa) das composições cal-pozolana						
		20-80 (%)	25-75 (%)	30-70 (%)	35-65 (%)	40-60 (%)	45-55 (%)	50-50 (%)
Megaó	7	4,54	5,23	6,08	6,39	8,92	7,91	7,12
	28	7,85	10,89	11,74	13,43	15,95	10,53	9,74
	60	8,36	11,02	11,37	13,72	16,24	11,34	10,80
Carbomil	7	3,64	4,31	5,44	6,51	5,93	4,30	3,80
	28	4,10	5,01	6,92	10,29	8,58	7,87	7,43
	60	5,50	5,73	8,00	12,20	10,44	10,31	9,52
Cimencal	7	1,92	4,05	5,86	6,28	6,55	6,87	5,37
	28	2,27	4,17	6,07	8,36	10,19	9,85	6,18
	60	2,60	4,63	6,41	8,57	10,70	9,96	6,26
Dolomil	7	0,20	0,41	1,59	1,63	0,97	1,20	1,51
	28	0,35	0,78	1,78	2,03	1,03	1,36	1,54
	60	0,20	1,19	2,01	2,34	1,16	1,40	1,65

2.8 – INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS POZOLÂNICOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS E CONCRETOS

Além das vantagens técnicas, o uso de materiais pozolânicos nas argamassas e concretos traz benefícios econômicos, no custo energético de produção de cimento, e benefícios ecológicos, no aproveitamento de rejeitos industriais poluidores, como no caso das escórias de alto forno.

No entanto, o emprego de pozolanas apenas é viável quando utilizado em grandes quantidades e a um custo reduzido, e quando existem pozolanas próximas às obras onde vai ser usada.

Como cita MACIEL (1997), a pozolana é um material fino que preenche melhor os vazios, permitindo maior trabalhabilidade e retenção de água a argamassa no estado fresco, influenciando positivamente as propriedades do revestimento no estado endurecido.

De acordo com COWPER & BRADY (1981), os materiais pozolânicos quando são usados na confecção das argamassas de cal, em adição ou em substituição parcial da areia, dão origem a propriedades hidráulicas e uma maior resistência.

Este mesmo autor afirma que as adições de pozolanas nas argamassas e concreto de cimento Portland são de grande importância, uma vez que o cimento Portland contém cal livre extinta que facilita o ataque por substâncias químicas ocasionando eflorescências. Neste sentido, as pozolanas podem se combinar com a cal livre tornando-a insolúvel e inativa, reduzindo a ação dos agentes químicos sobre os produtos de hidratação do cimento Portland.



As pozolanas, segundo SCANDIUZZI & ANDRIOLO (1981), quando usadas em substituição parcial do cimento, aumentam a plasticidade e diminuem a exsudação. Esta melhoria fica mais pronunciada quando se usa relações água/cimento elevadas, e dependerá diretamente da finura do produto e da porcentagem substituída

Algumas pozolanas aumentam a quantidade de água requerida para uma mesma trabalhabilidade. Sobre este fato, SOUZA SANTOS (1975) comenta que o teor de água de argamassas de cimento Portland e pozolana é menor quando são utilizadas pozolanas de argilas calcinadas, em comparação com outros tipos de pozolanas, no entanto, esse efeito é ainda maior do que em argamassas de cimento sem pozolana, o que pode aumentar a retração por secagem das argamassas.

De acordo com CASTRO SOBRINHO (1970), os materiais pozolânicos podem reduzir a expansão de argamassas contendo agregado reativo e cimento rico em álcalis, utilizando, neste caso, a pozolana para reduzir a reação álcali-agregado.

Da mesma forma, SCANDIUZZI & ANDRIOLO (1981) observam que os materiais pozolânicos são eficazes no controle da reação álcalis-agregado, uma vez que, tendo uma superfície alta, os materiais pozolânicos reagem prontamente com os álcalis, minimizando a concentração de tensões na superfície dos agregados.

KIHARA & ESPER (1986) ressaltam que o teor de adição de material pozolânico para a redução da reação álcali-agregado é variável, dependendo do tipo e finura da pozolana, bem como das características físico-químicas do concreto ou argamassa.

Os materiais pozolânicos melhoram também a impermeabilidade, principalmente quando se emprega pouco aglomerante.

As resistências mecânicas são reduzidas nas primeiras idades, mas em idades mais avançadas as resistências apresentam-se mais elevadas do que em concretos e argamassas sem pozolanas. Com relação à resistência ao ataque de sulfatos, CASTRO SOBRINHO (1970) diz que há exemplos de obras marítimas sujeitas ao ataque de águas contendo sulfatos, onde foram usadas pozolanas, e que ainda se encontram em perfeito estado.

Quanto ao desenvolvimento da microestrutura das argamassas, estas se apresentam mais densas com menor proporção de vazios, mais compactas, ocorrendo inclusive um menor calor de hidratação.

Sobre as desvantagens do uso de pozolanas, podem ocorrer reduções na velocidade de endurecimento e na resistência, um aumento da retração por secagem, uma maior quantidade de água na mistura e ainda baixa resistência ao congelamento.

Ressalta-se que as reações químicas entre as pozolanas e as cales são no entanto afetadas por fatores, que podem induzir a conclusões apressadas e isso poderá resultar em entendidos errôneos. NEVILLE (1997) observa que são muito variáveis os efeitos das pozolanas, tanto os favoráveis como os desfavoráveis, sendo aconselhável que sejam procedidas análises quando se faz uso de uma pozolana desconhecida, conjuntamente com o cimento e o agregado que serão usados.

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL**3.1 - INTRODUÇÃO**

Este trabalho experimental foi desenvolvido com o objetivo de avaliar algumas propriedades das argamassas de revestimento produzidas com materiais pozolânicos. Para realização da pesquisa foram selecionados dois tipos de pozolanas: as pozolanas de argila calcinada e as escórias de alto forno.

Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, e em seguida, procedeu-se a avaliação das argamassas quanto às seguintes propriedades: consistência, massa específica, teor de ar incorporado, retenção de água, além das resistências mecânicas e resistência de aderência à tração.

Assim, neste capítulo são apresentados os materiais e metodologia empregados, e expostos e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização e tecnológicos executados durante a pesquisa.

3.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 – MATERIAIS

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

Cal hidratada - Adquirida no comércio local de Campina Grande-PB. A cal é conhecida comercialmente como cal Megaó e é proveniente de Recife-PE.

Cimento Portland - Foi utilizado o cimento Portland composto com filler, CII F 32, de marca POTY.

Pozolanas - Foram utilizadas duas pozolanas artificiais:

- ◆ *Pozolana de argila calcinada* - Produzida pela ITAPESSOCA, localizada em Goiânia - PE. Esta pozolana é obtida por tratamento térmico de caulins, à temperatura de 700°, sendo geralmente utilizada para fabricação de cimento Portland pozolânico.
- ◆ *Escória de alto forno* - Fornecida pela HOLDERCHEM - CIMINAS e utilizadas na fabricação dos cimentos Portland CP II E 32, CP V ARI RS, CP V ARI RS-MS.

Cal Pozolânica - Foram preparadas amostras de cales pozolânicas a partir de misturas de cal hidratada mais pozolana em proporções adequadas.

Areia - Areia normal obtida por peneiração, segundo norma NBR - 7214 (1982), a partir de areias provenientes do Rio Paraíba.

Água - Água potável, fornecida pela CAGEPA – Companhia de água e esgotos da Paraíba.

3.2.2 – MÉTODOS

3.2.2.1 – Ensaios de caracterização

♦ Massa Unitária

Pozolana, cal hidratada e areia – As massas unitárias foram determinadas de acordo com a NBR – 7251 (1982).

Cal Pozolânica – Para determinação da massa unitária das cales pozolânicas, foi adotada a média ponderada da massa unitária da cal com a massa unitária da pozolana, conforme calculado por MOTA (1994).

♦ Análise granulométrica da areia

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a NBR-7217 (1987).

♦ Massa específica

Cal hidratada e pozolana - As massas específicas foram determinadas de acordo com o método do picnômetro.

Areia – A massa específica foi determinada de acordo com a NBR – 9776 (1987).

◆ **Área específica**

Cal hidratada e pozolana – As áreas específicas foram determinadas pelo método do permeâmetro de Blaine de acordo com a NBR – 7224 (1984).

◆ **Análise química**

Cal hidratada e pozolana de argila calcinada - As amostras de cal e pozolana de argila calcinada foram enviadas ao laboratório de Análise Química e Mineral do CCT/PRAI/UFPB – CG. O método empregado para análise foi o de número 88 do Ministério do Interior – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – DRM/Divisão de Geologia/SAN.

Escória de alto forno – Análise química fornecida pelo fabricante.

*Cimento CII F 32*¹⁶ – Análise química fornecida pelo fabricante.

¹⁶ Os resultados dos ensaios físicos do cimento CP II F32 também foram fornecidos pelo fabricante.

3.2.2.2 – Ensaios tecnológicos

◆ *Confeção das argamassas*

Foram executados ensaios em argamassas, no traço 1:3 (massa), contendo cales pozolânicas com adição de 5%, 10%, 15% e 20% de cimento Portland (CPII F 32), resultando desta forma em oito argamassas distintas, sendo quatro argamassas com pozolana de argila calcinada e quatro argamassas com escória de alto forno. As composições dos traços destas argamassas estão mostradas na tabela 15. Cabe ressaltar que o traço escolhido não é usualmente empregado em obras, se prestando mais para uma avaliação em laboratório da qualidade das pozolanas e ainda a título de comparação quando usadas pozolanas distintas.

Posteriormente, foram empregados nos experimentos argamassas com e sem pozolana (argamassa convencional), no traço (em volume) 1:2:9 e 1:1:6. A composição dos traços destas argamassas está mostrada nas tabelas 16 e 17.

Tabela 15—Composição dos traços – argamassas com pozolana de argila calcinada e argamassas com escória de alto forno

<i>Identificação do traço</i>	<i>*Cales Pozolânicas:areia</i>	<i>Cimento (%)</i>
<i>Ta</i>	1:3	5
<i>Tb</i>	1:3	10
<i>Tc</i>	1:3	15
<i>Td</i>	1:3	20

*Obs: cales pozolânicas - 40% de cal e 60% de pozolana de argila calcinada
30% de cal e 70% de escória de alto forno

Tabela 16- Composição dos traços - argamassas com pozolana

Traço(cimento:*cal Pozolânica:areia)		Pozolana
Volume	Massa	
1:2:9	1:1,29:10,8	Argila Calcificada
1:1:6	1:0,64:7,2	
1:2:9	1:1,34:10,8	Escória de alto forno
1:1:6	1:0,67:7,2	

* Obs: Cal pozolânica: 30% de cal e 70% de pozolana

Tabela 17- Composição dos traços - argamassa convencional

Traço(cimento:cal:areia)	
Volume	Massa
1:2:9	1:0,97:10,8
1:1:6	1:0,49:7,2

♦ **Cal pozolânica**

Na cal pozolânica com argila calcificada os teores de cal e pozolana foram fixados com base em estudos já desenvolvidos na UFPB, que recomendam as seguintes proporções: 40% de cal hidratada e 60% de pozolana ou 30% de cal hidratada e 70% de pozolana.

A composição da cal pozolânica com escória de alto forno foi fixada a partir de um estudo de diferentes composições da cal e pozolana desenvolvido nesta pesquisa. Através de determinações de resistência à compressão simples para argamassas no traço 1:3 (em massa), relação água/aglomerante determinada em laboratório e cura ao ar por um período de 28 dias, foi determinado o teor adequado de cal e pozolana.

Nos ensaios realizados, o teor de adição que apresentou as melhores características mecânicas foi o de 30% de cal e 70% de escória, sendo

este o teor adotado na confecção das argamassas. Estes resultados estão apresentados na tabela 18.

Tabela 18- Resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas com escória de alto forno

Cal-escória (%)	Resistência à Compressão (MPa)	Relação água/aglomerante
20-80	8.6	0.69
30-70	9.25	0.69
40-60	6.67	0.70
50-50	5.75	0.74
60-40	3.74	0.77

♦ **Ensaio executados nas argamassas no estado plástico**

Pretendia-se trabalhar com argamassas com índice de consistência de 255 ± 10 mm de acordo com a NBR – 13276. No entanto, este índice de consistência proporcionou argamassas com trabalhabilidade inadequada¹⁷ para serem utilizadas como revestimento. Desta forma, a relação água/aglomerante foi determinada empiricamente em laboratório, de acordo com a consistência desejada. Procurou-se definir a quantidade de água, de modo a manter a mesma trabalhabilidade para todas as argamassas estudadas.

Deve-se destacar que não foi feita a maturação da cal como recomendado pelo projeto de norma 02:102.17-002(1997).

¹⁷ As argamassas apresentaram-se excessivamente fluidas

As argamassas no estado fresco foram avaliadas de acordo com os seguintes métodos de ensaio:

Tabela 19 – Métodos de ensaio no estado fresco

<i>Ensaio</i>	<i>Método</i>
<i>Consistência</i>	NBR – 13276
<i>Retenção de água</i>	NBR – 13277
<i>Densidade de massa</i>	NBR – 13278
<i>Teor de ar incorporado</i>	NBR – 13278

♦ ***Ensaio executados nas argamassas no estado endurecido***

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, curados ao ar, em ambiente de laboratório, durante 28 dias, quando então foram determinadas as resistências mecânicas de acordo com os métodos indicados na tabela 20.

Quanto à resistência de aderência à tração, previamente à aplicação da argamassa, a parede de alvenaria de tijolo (construção acabada) foi chapiscada, recebendo em seguida uma camada de regularização (cimento:massame¹⁸:areia) para eliminar irregularidades. Só então foram executados painéis de 30cm x 50cm conforme procedimento tradicional de aplicação de revestimento em obra. A espessura do revestimento foi fixado em $\pm 1,5$ cm para todos os tipos de argamassas.

Todos os painéis foram curados ao ar livre, a uma temperatura aproximadamente de 30°C, expostos a intempéries, durante 28 ± 2

¹⁸Também chamado de saibro, consiste em um solo que contém uma fração argilosa

dias, quando então foram ensaiados conforme método indicado na tabela 20.

Tabela 20 – Métodos de ensaio no estado endurecido

<i>Ensaio</i>	<i>Norma</i>
<i>Resistência à compressão</i>	NBR-13279
<i>Resistência à tração</i>	
<i>Por compressão diametral</i>	NBR - 7222
<i>Resistência de aderência à tração</i>	NBR-13528

3.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

♦ Cal hidratada

Na tabela 21 é apresentada a caracterização física da amostra da cal hidratada.

Tabela 21 - Caracterização física da amostra da cal hidratada.

<i>Características</i>	<i>Amostra da cal hidratada Megaó</i>
<i>Massa específica (g/cm³)</i>	2.517
<i>Área específica (cm²/g)</i>	17386
<i>Massa unitária no estado Solto (g/cm³)</i>	0.56

Em anexo são apresentados resultados de ensaios físicos da cal Megaó determinados em estudo realizado no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) sobre as cales hidratadas do Nordeste. Conforme estes resultados, a cal Megaó

atende a quase todas as especificações da norma NBR – 7175, deixando de atender apenas as exigências referentes à retenção de água. Os valores mínimos para a retenção de água, de acordo com NBR-7175, são de 70% para a cal hidratada tipo III e 80% para a cal hidratada tipo I e II, tendo a cal Megaó apresentado o valor de 68%.

Na tabela 22 é apresentada a composição química da amostra de cal hidratada.

Tabela 22 – Composição química da cal hidratada

Componente	Teor(%)
PR	24.94
SiO₂	3.36
Fe₂O₃	-
Al₂O₃	-
CaO	42.92
MgO	28.62
Na₂O	-
K₂O	-

◆ Pozolanas

Pozolana de argila calcinada

Na tabela 23 é apresentada a caracterização física da amostra da pozolana de argila calcinada.

Tabela 23 – Caracterização física da pozolana de argila calcinada

Características	Pozolana de argila Calcificada
Massa específica (g/cm³)	2.726
Área específica (cm²/g)	8370
Massa unitária no estado solto (g/cm³)	0.86

As pozolanas de argilas calcinadas exigem finuras mínimas da ordem de $7000\text{cm}^2/\text{g}$ para manifestarem mais intensamente as suas propriedades pozolânicas, o que implica que a pozolana empregada, com $8370\text{ cm}^2/\text{g}$, apresenta uma finura adequada.

Na tabela 24 é apresentada a composição química da amostra da pozolana de argila calcinada.

Tabela 24 – Composição química da pozolana de argila calcinada

Componente	Teor(%)
PR	3.00
RI	2.24
SiO₂	73.31
Fe₂O₃	1.50
Al₂O₃	18.88
CaO	NiHiL
MgO	=
Na₂O	0.80
K₂O	0,10

A soma dos percentuais de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ é igual a 93,69%, valor que supera o mínimo exigido de 70%, portanto atendendo às especificações. De acordo com a literatura o valor máximo exigido para a perda ao fogo é de 10%, o que implica que esta pozolana também atende a esta especificação.

Escória de alto forno

Na tabela 25 é apresentada a caracterização física da amostra da escória de alto forno.

Tabela 25 - Caracterização física da escória de alto forno

<i>Características</i>	<i>Escória de alto forno</i>
<i>Massa específica (g/cm³)</i>	2.922
<i>Área específica (cm²/g)</i>	5250
<i>Massa unitária no estado solto (g/cm³)</i>	0.91

Na tabela 26 é apresentada a composição química da amostra da escória de alto forno.

Tabela 26 – Composição química da escória de alto forno

<i>Componente</i>	<i>Teor(%)</i>
<i>PR</i>	0.08
<i>RI</i>	0.27
<i>SiO₂</i>	34.00
<i>Fe₂O₃</i>	1.60
<i>Al₂O₃</i>	10.97
<i>CaO</i>	42.62
<i>MgO</i>	6.85

Quando comparados os resultados obtidos na análise química da escória com os resultados considerados adequados pelas literaturas consultadas, verifica-se que as mesmas atendem às especificações lá evidenciadas.

De acordo com a NBR 5735 as escórias utilizadas para cimento devem apresentar alto grau de vitrificação e obedecer a relação $(CaO+MgO+Al_2O_3)/SiO_2 > 1$. Portanto, a escória utilizada atende a esta especificação, uma vez que a relação $(CaO+MgO+Al_2O_3)/SiO_2$ é igual a 1,78.

Calculando o índice de basicidade, verifica-se que a escória é considerada básica, visto que as relações $CaO/SiO_2 > 1$ e $(CaO+MgO)/SiO_2 > 1$.

Quando são analisados os teores exigidos para pozolanas, observa-se que a escória de alto forno não atende a todas as condições. Cabe salientar que, de acordo com a literatura, a composição química de um dado material fornece pouca ou nenhuma informação a respeito do seu caráter pozolânico, se prestando mais para o controle da qualidade da pozolana.

A soma dos percentuais de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que é de 46.57% ficou abaixo do valor mínimo exigido de 70% para pozolanas. O teor de SiO_2 está abaixo do considerado adequado para pozolanas, entretanto, de acordo com alguns autores, podem ser encontradas boas pozolanas apenas com 40% de SiO_2 .

O teor de MgO de 6.85% está acima do valor máximo exigido que é de 5%, e quanto ao valor elevado de CaO , este se deve ao uso de cal como fundente.

♦ **Cimento Portland composto – CII F 32**

A composição química e os ensaios físicos do cimento, enviados pelo fabricante, são apresentados nas tabelas 27 e 28 respectivamente. De acordo com os resultados, observa-se que o cimento Portland atende às especificações da NBR-11578 (1991)

Tabela 27 – Composição química do cimento

Componente	Teor(%)
Perda ao fogo	3.70
Resíduo insolúvel	2.09
MgO	1.30
SO₃	2.68

Tabela 28 - Ensaio físico do cimento

Ensaio	Unidade	Valor
Resíduo na 0.075 mm	%	2.30
Superfície específica	m ² /kg	366
Massa específica	Mg/m ³	3.10
Tempo de início de pega	min	110
Tempo de fim de pega	min	185
Expansibilidade a quente	min	0.0
Resistência à Compressão	3 dias	24.6
	7 dias	30.6
	28dias	38.4

◆ Areia

De acordo com a NBR-7211(1983) a areia se enquadra na zona 2 (areia fina), conforme indicado na figura 09. As características físicas da areia estão indicadas abaixo:

- ◆ Módulo de finura 2.41
- ◆ Diâmetro máximo (mm) 4.8
- ◆ Massa específica (g/cm³) 2.62
- ◆ Massa unitária no estado solto 1.38 (g/cm³)

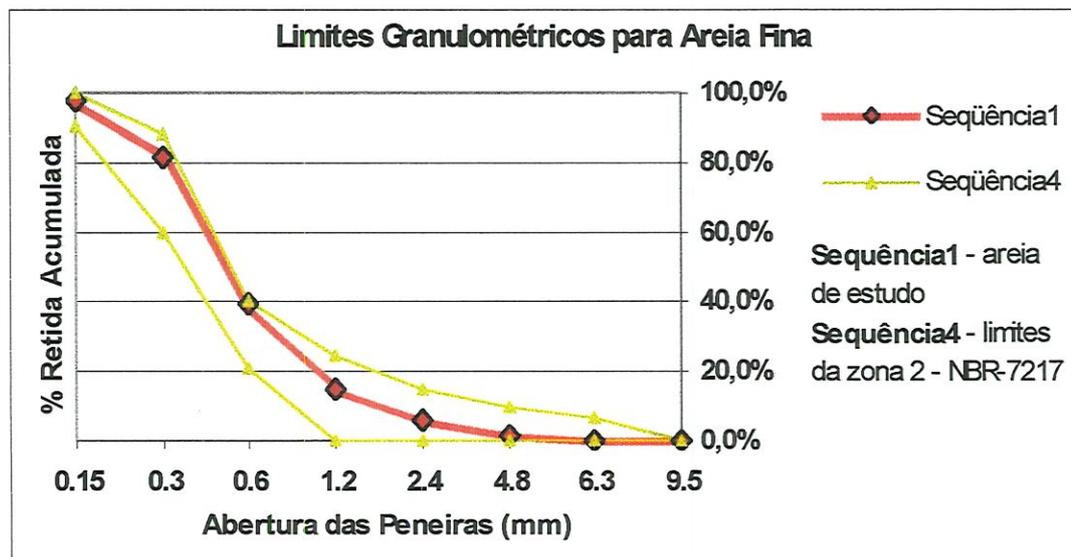


Figura 09 – Curva granulométrica da areia

A areia utilizada é proveniente do Rio Paraíba, cujas características já foram avaliadas nos laboratórios da UFPB, onde foi constatado que estas areias não apresentam torrões de argilas, materiais pulverulentos e matéria orgânica, sendo considerada uma areia de boa qualidade para a confecção de argamassas.

3.3.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Nas tabelas 29 e 30 são apresentados os resultados dos ensaios em argamassas no **traço 1:3(massa) com 5, 10, 15 e 20%, de cimento Portland**, correspondentes aos ensaios de densidade de massa, consistência, teor de ar incorporado e retenção de água no estado fresco. Nas tabelas 31 e 32 são apresentados, analogamente, os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração e resistência de aderência à tração no estado endurecido.

♦ ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Tabela 29-Argamassas com pozolana de argila calcinada

Traço	Teor de cimento (%)	Densidade de Massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Teor de ar Incorporado (%)	Retenção de água (%)
Ta	5	2.07	189	0	95
Tb	10	2.05	198	1	94
Tc	15	2.04	196	2	94
Td	20	2.05	199	2	93

Tabela 30-Argamassas com escória de alto forno

Traço	Teor de cimento (%)	Densidade de Massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
Ta	5	2.09	198	2	90
Tb	10	2.08	192	3	90
Tc	15	2.09	195	3	91
Td	20	2.08	185	4	91

◆ ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela 31- Argamassas com pozolanas de argila calcinada

<i>Traço</i>	<i>Teor de cimento (%)</i>	<i>Resistência à compressão (MPa)</i>	<i>Resistência à tração (MPa)</i>	<i>Resistência de aderência à tração (MPa)</i>	<i>Relação Água/aglomerante</i>
Ta	5	4.69	0.45	0.26	0.76
Tb	10	5.99	0.43	0.31	0.75
Tc	15	7.55	0.62	0.32	0.74
Td	20	7.65	0.64	0.33	0.73

Tabela 32-Argamassas com escória de alto forno

<i>Traço</i>	<i>Teor de cimento (%)</i>	<i>Resistência à compressão (Mpa)</i>	<i>Resistência à tração (MPa)</i>	<i>Resistência de aderência à tração (MPa)</i>	<i>Relação Água/aglomerante</i>
Ta	5	7.45	0.87	0.50	0.68
Tb	10	9.01	0.97	0.61	0.67
Tc	15	10.54	1.24	0.62	0.66
Td	20	10.85	1.39	0.67	0.65

Analisando os resultados, verifica-se que os valores de retenção de água estão acima de 80%, o que classifica as argamassas como de boa retenção de água. Cabe ressaltar que a substituição de parte da cal pela pozolana não afetou a retenção de água das argamassas.

As resistências mecânicas apresentam-se dentro dos limites das especificações.

Com relação às resistências de aderência, as argamassas com pozolanas de argila calcinada apresentam valores mais baixos quando comparadas com as argamassas com escória, no entanto, ainda atendendo às especificações da norma NBR-13749(1996), que recomenda uma tração mínima de 0,30MPa.

Observa-se quando da realização dos ensaios de resistência de aderência, uma variação nos resultados. Os valores apresentados nas tabelas anteriores referem-se a valores médios simplesmente calculados. Esta variação pode ser explicada pela influência da técnica utilizada pelo oficial pedreiro na realização do revestimento. Procurou-se não interferir nesse parâmetro, que significa a necessidade de treinar e estabelecer rotinas de procedimentos para um perfeito cumprimento de todas as hipóteses estabelecidas em projeto, baseadas em investigação científica.

Nas tabelas 33 a 35 são apresentados os resultados dos ensaios em argamassas no **traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)**, correspondentes aos ensaios de densidade de massa, consistência, teor de ar incorporado e retenção de água no estado fresco. Nas tabelas 36 a 38 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração e resistência de aderência à tração no estado endurecido.

♦ **ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO**

Tabela 33 – Argamassas com pozolanas de argila calcinada

Traço	Densidade de massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
1:2:9	2.07	209	3	88
1:1:6	2.05	206	5	88

Tabela 34 – Argamassa com escória

Traço	Densidade de massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
1:2:9	2.00	205	7	86
1:1:6	2.04	209	6	87

Tabela 35 – Argamassa convencional

Traço	Densidade de massa (g/cm³)	Consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
1:2:9	1.99	214	5	89
1:1:6	1.99	212	6	87

◆ **ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO**

Tabela 36 – Argamassa com pozolana de argila calcinada

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Resistência de aderência à tração (MPa)	Relação água/aglomerante
1:2:9	6.14	0.56	0.52	1.01
1:1:6	8.95	1.21	0.56	0.93

Tabela 37 – Argamassa com escória

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Resistência de aderência à tração (MPa)	Relação água/aglomerante
1:2:9	8.47	0.89	0.60	0.92
1:1:6	9.63	1.46	0.76	0.85

Tabela 38 – Argamassa convencional

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Resistência de aderência à tração (MPa)	Relação água/aglomerante
1:2:9	2.52	0.21	0.53	1.23
1:1:6	3.78	0.42	0.70	1.06

A superioridade das argamassas produzidas com materiais pozolânicos frente as convencionais está, sem dúvida, nas resistências mecânicas. No caso específico da argamassa com escória, esta também se apresentou superior na resistências de aderência à tração.

Verifica-se que a substituição de parte da cal pela pozolana não interfere na retenção de água, visto que todos os valores estão acima de 80%.

Quanto à resistência de aderência, todas as argamassas estudadas atenderam às especificações da norma NBR-13749 (1996), que recomenda uma tração mínima de 0,30 MPa.

Capítulo 04

ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo é feita uma análise dos resultados obtidos a partir dos traços estudados, conforme exposto no capítulo anterior.

4.1 - ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM TRAÇO EM MASSA DE 1:3

Os valores obtidos nos ensaios para o traço 1:3 não apresentaram variações significativas, mas ainda assim foi possível tecer algumas considerações sobre os mesmos.

Ao se comparar os resultados, verifica-se que a quantidade de água necessária para obtenção da consistência desejada é maior para as argamassas com pozolanas de argila calcinada, o que pode estar relacionado diretamente com a finura (superfície específica) mais elevada desta pozolana. O maior consumo de água e conseqüentemente maior relação água/aglomerante é, provavelmente, responsável pelos valores mais baixos das resistências mecânicas destas argamassas. No entanto, cabe destacar a desnecessidade de altas resistências mecânicas para as argamassas de revestimento.

Em todas as argamassas avaliadas, constata-se que à medida que a proporção de cimento Portland diminui no traço, há um aumento na quantidade de água necessária para obtenção da consistência desejada. Este fato decorre de um aumento, em massa, na quantidade de cal pozolânica, uma vez que a cal exige uma quantidade de água bem maior para obtenção da consistência.

A figura 10 permite observar que as argamassas com pozolana de argila calcinada apresentam valores de retenção de água superiores aos das argamassas com escória. No entanto, estas últimas apresentam valores mais elevados nas resistências mecânicas e resistência de aderência.

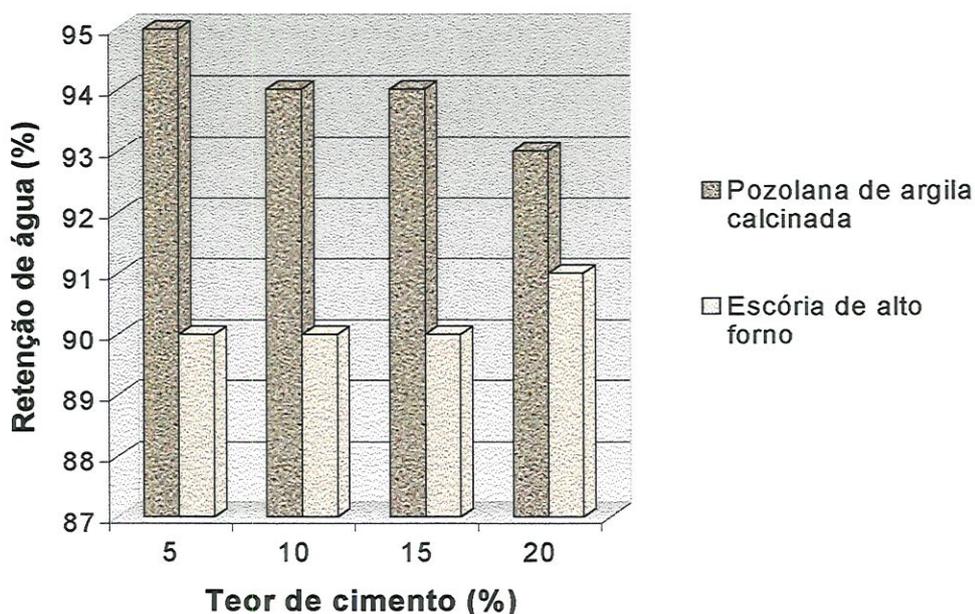


Figura 10 – Retenção de água em função do teor de cimento

CAVANI & ANTUNES & JOHN observaram, com boa correlação, que a quantidade de água para obtenção da mesma trabalhabilidade é

inversamente proporcional ao teor de ar incorporado, fato este também constatado nos resultados obtidos na presente pesquisa.

Na figura 11 é apresentado o comportamento do teor de ar incorporado em função do teor de cimento utilizado. Neste gráfico, observa-se que ao se reduzir o teor de cimento e conseqüentemente ao se aumentar o teor de cal, há um decréscimo no teor de ar incorporado.

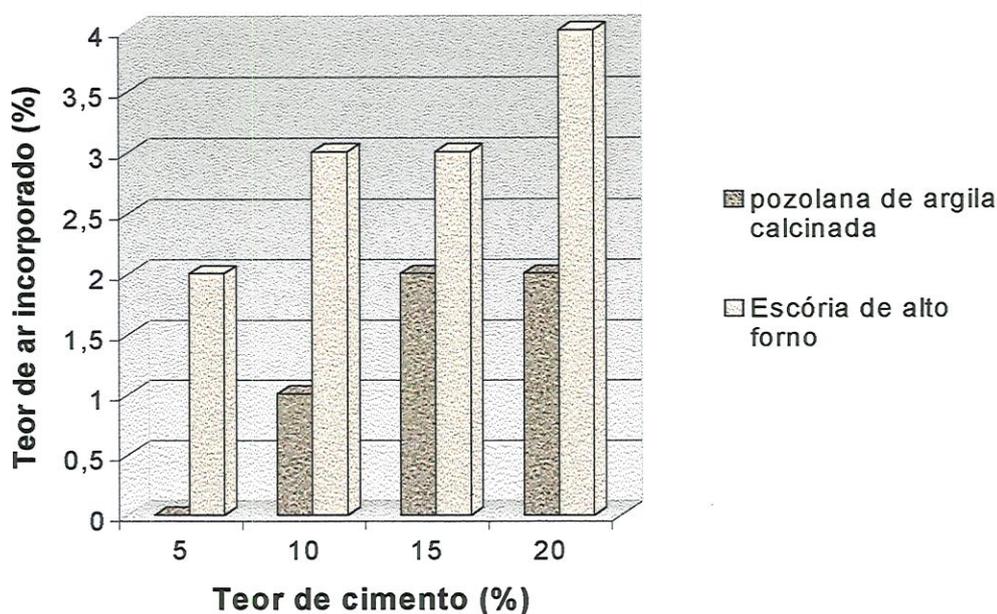


Figura 11 – Teor de ar incorporado em função do teor de cimento

Sabe-se que a principal função do cimento Portland é incrementar as resistências mecânicas, assim, mesmo usando pequenos teores de cimento nas argamassas ensaiadas, como indicado nas figuras 12 e 13, as resistências mecânicas apresentam-se dentro dos limites das

especificações da literatura consultada, o que indica elevado poder aglomerante das pozolanas empregadas.

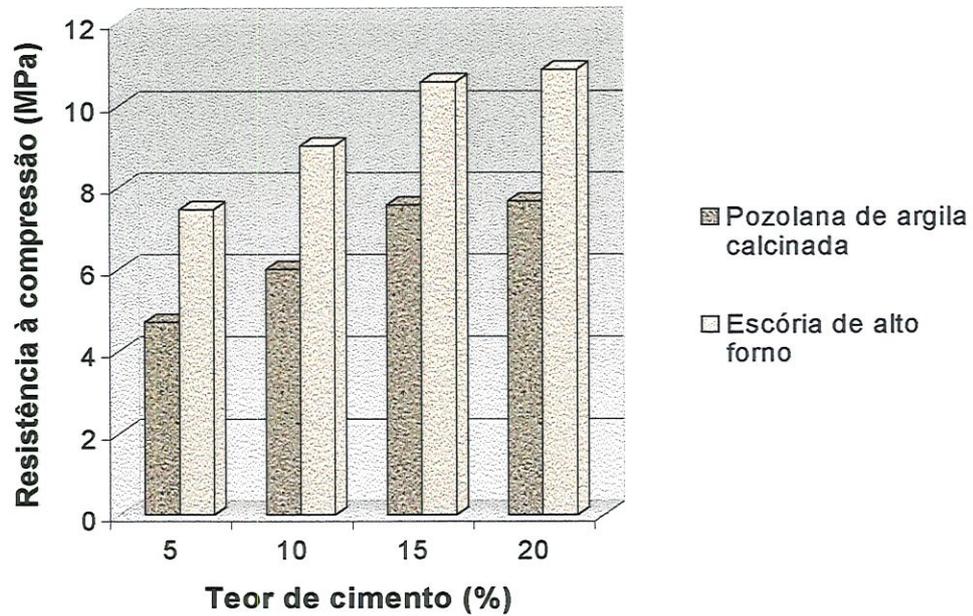


Figura 12 – Resistência à compressão em função do teor de cimento

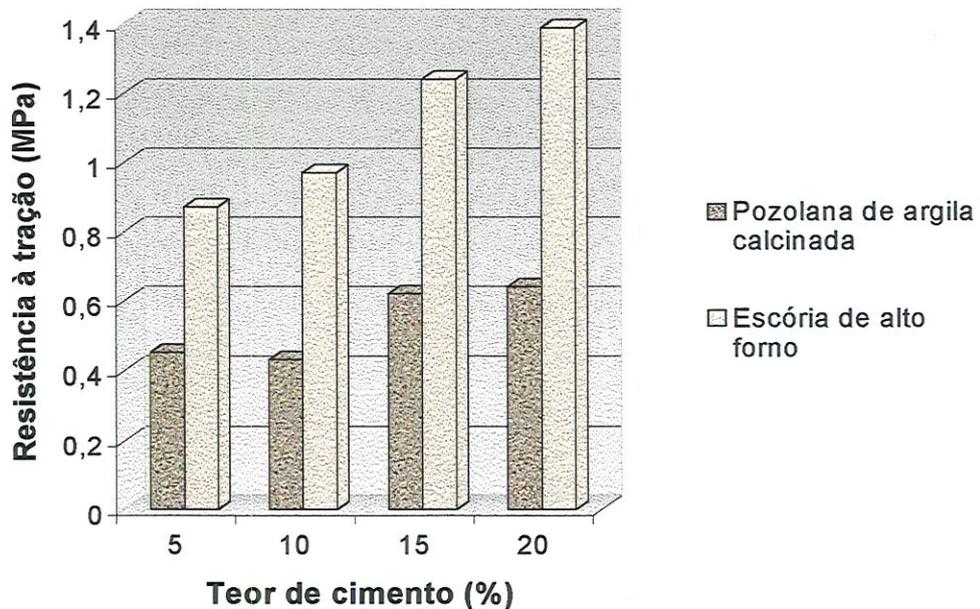


Figura 13 – Resistência à tração em função do teor de cimento

Com relação às resistências de aderência, os valores mais baixos das argamassas com pozolana de argila calcinada podem estar relacionados ao modo de ruptura, que ocorreu na interface revestimento/cola.

Como já era de se esperar, com o aumento do teor de cimento e consequentemente das resistências mecânicas, há um acréscimo nos valores das resistências de aderência. Porém, convém ressaltar que o aumento da dosagem de cimento é benéfico até o ponto que não se reduza a trabalhabilidade das argamassas prejudicando a extensão de aderência. A figura 14 permite observar a evolução da resistência de aderência em função do teor de cimento.

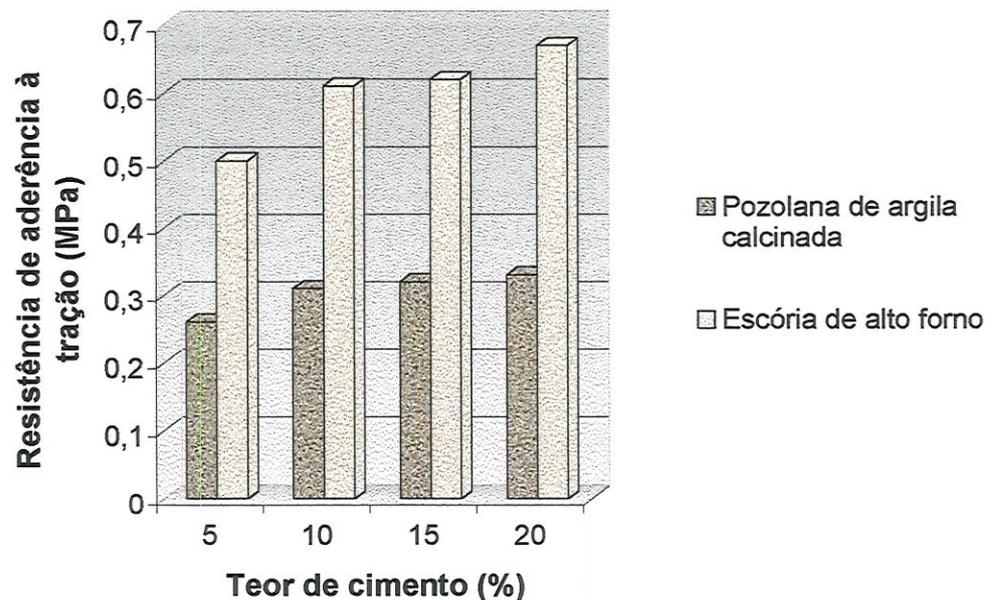


Figura 14 – Resistência de aderência à tração em função do teor de cimento

O gráfico da figura 15 apresenta os valores da resistência à compressão das argamassas com 100% de cales pozolânicas confeccionadas com escória de alto forno. Quanto a evolução da relação água/aglomerante em função do teor de escória, esta pode ser observada na figura 16.

Analisando os gráficos a seguir, observa-se que a adição de escória reduz a quantidade de água necessária para a consistência desejada, sendo mais evidente esta tendência para menores teores de escória. Por outro lado, para as misturas a partir de 60% de escória, a adição desta pozolana praticamente não altera a quantidade de água. A resistência à compressão diminui a partir de 60% de adição.

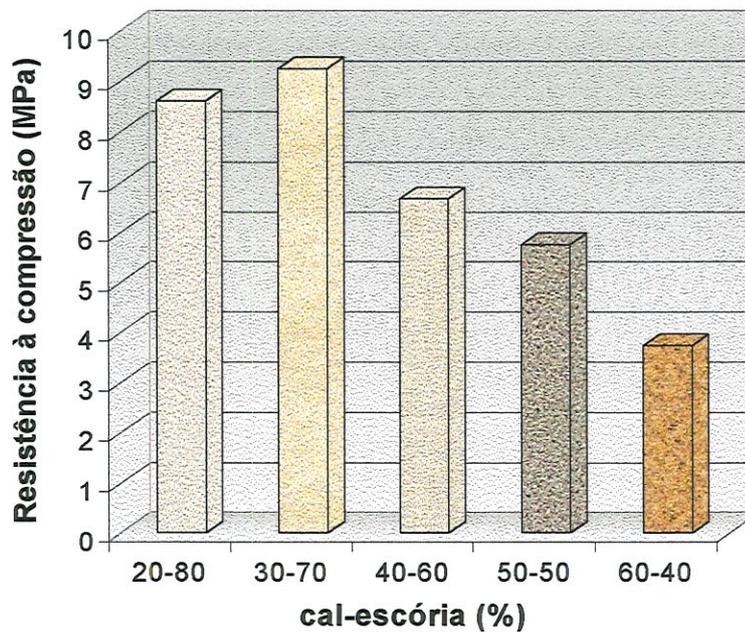


Figura 15 – Resistência à compressão em função do teor de cal e escória

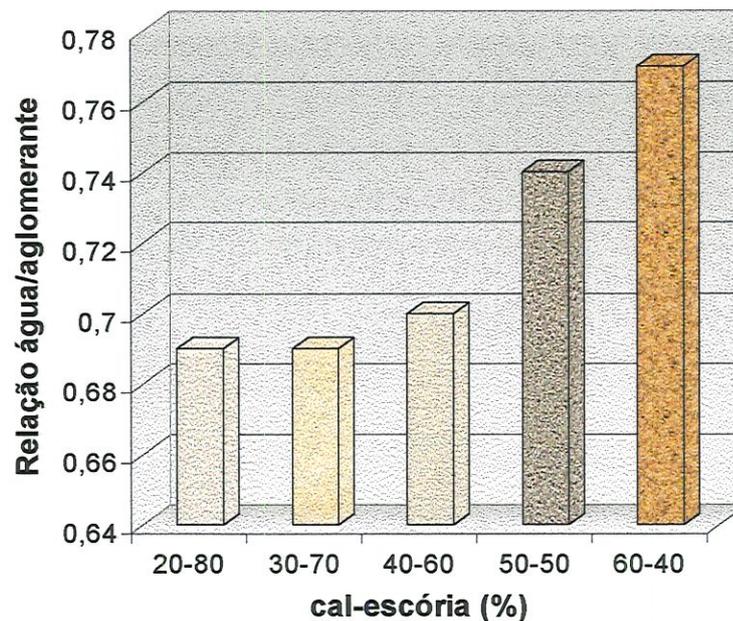


Figura 16 – Relação água/aglomerante em função dos teores de cal e escória

Comparando o desempenho mecânico das argamassas com 100% de cal pozolânica com o das argamassas com cal pozolânica e adições de cimento, observa-se que:

- ♦ com relação à resistência mecânica da argamassa com 100% de cal pozolânica produzidas com escória de alto forno, verifica-se que a resistência à compressão de 9,25MPa, obtida para o teor de 30% de cal e 70% de escória, só foi superada quando adicionado 15% de cimento nas argamassas com adições de cimento, conforme figura 17.

- ♦ a resistência à compressão de 7,52MPa obtida no trabalho experimental de NEVES et al.¹⁹ para a argamassa com 0% de cimento e conseqüentemente 100% de cal pozolânica (40% de cal e 60% de argila calcinada) só foi superada quando adicionado 20% de cimento nas argamassas ensaiadas neste trabalho, conforme figura 17.

A partir das análises acima, constata-se que a escória de alto forno e a pozolana de argila calcinada possuem elevado poder aglomerante quando misturados adequadamente à cal hidratada.

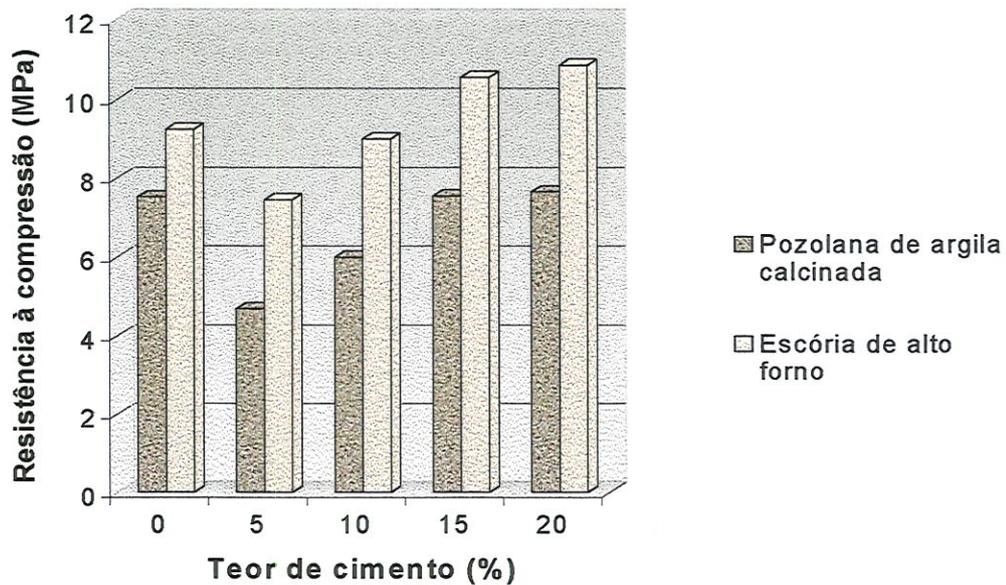


Figura 17 – Resistência à compressão aos 28 dias em função do teor de cimento

¹⁹Os resultados da pesquisa de NEVES et al estão apresentados na tabela 13. Optou-se por utilizar o resultado obtido por NEVES et al. (1994), uma vez que na presente pesquisa não foram realizados ensaios em argamassas com pozolanas de argila calcinada com 100% de cal pozolânica. Os materiais empregados em ambas as pesquisas foram os mesmos, com exceção das pozolanas, que mesmo sendo derivadas da calcinação de materiais argilosos, são provenientes de jazidas diferentes.

4.2-ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM TRAÇO EM VOLUME DE 1:2:9 E 1:1:6

4.2.1 – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Trabalhabilidade

O uso de algumas pozolanas exige uma maior quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade. Entre as argamassas convencionais e alternativas propostas, a avaliação deste fato ficou prejudicada, uma vez que, mesmo procurando-se utilizar argamassas com a mesma trabalhabilidade, acabou-se por empregar argamassas com pozolanas um pouco mais rígidas que as convencionais.

Já entre as argamassas com pozolanas, foi possível manter a mesma trabalhabilidade. Desta forma, pode-se verificar que as argamassas com pozolanas de argila calcinada exigem maiores quantidades de água que as de escória, para uma mesma trabalhabilidade, evidenciando assim, a interferência da finura (superfície específica) no consumo de água da argamassa. Este fato explica a relação água/aglomerante mais elevada das argamassas com argila calcinada, inclusive, na figura 18 pode-se verificar a variação da relação água/aglomerante em função dos traços utilizados.

Ressalta-se que as argilas calcinadas por requererem uma maior quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade, podem provocar uma maior retração por secagem.

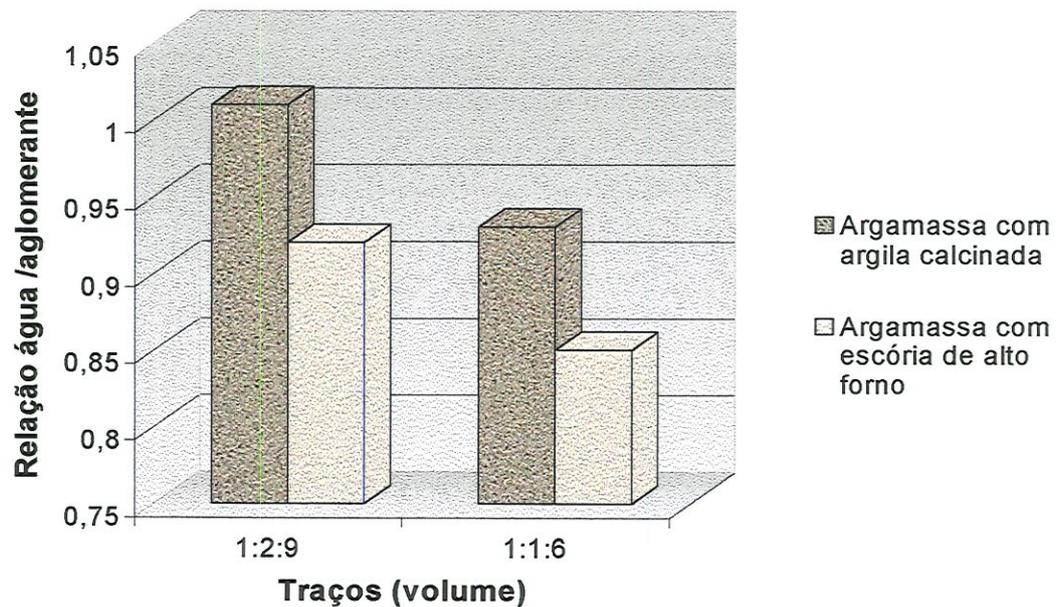


Figura 18 – Relação água/aglomerante em função dos traços utilizados.

Retenção de água

De acordo com CARASEK (1996) e CINCOTTO(1995), os aglomerantes são os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água, sendo a cal hidratada mais adequada para melhorar esta propriedade. Na presente pesquisa, a substituição de parte da cal pela pozolana não afetou a capacidade de retenção de água das argamassas, visto que todos os valores permaneceram acima de 80%, conforme a ilustra a figura 19.

A relação agregado/aglomerante (em volume) foi mantida constante e igual a 3 para todas as argamassas ensaiadas e, segundo SELMO (1989), fixado o valor da relação agregado/aglomerante, o aumento da relação cal/cimento melhora a retenção de água. No entanto, nos

resultados obtidos na presente pesquisa, não se observa variação significativa da retenção de água com o aumento da relação cal/cimento.

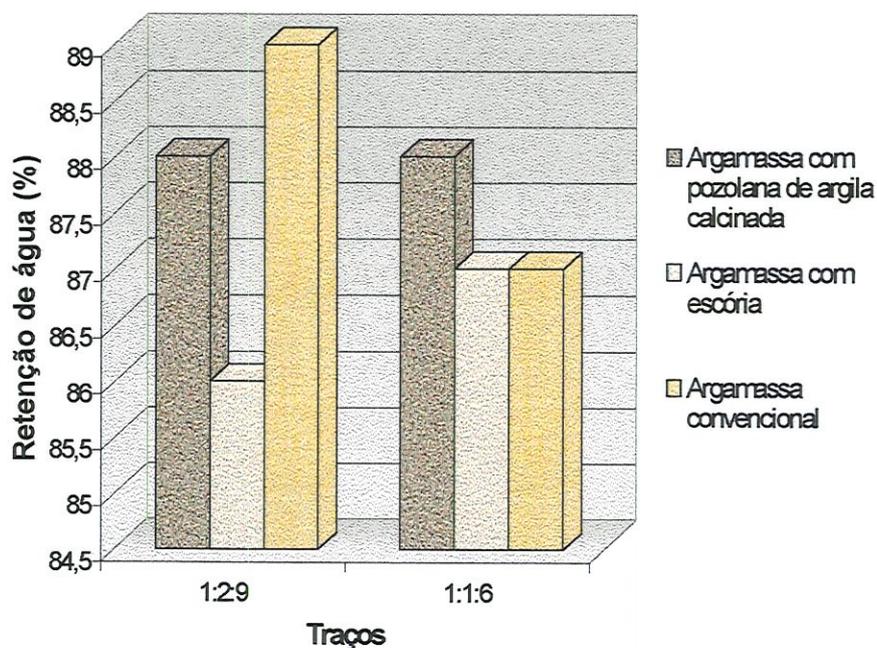


Figura 19 - Retenção de água em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)

Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado das argamassas varia entre 5% e 7%, que, para CAVANI et al.(1997), são valores típicos de argamassas sem aditivos.

Conforme a figura 20, o teor de ar incorporado da argamassa com escória é superior, no traço 1:2:9, ao da argamassa convencional. Já nas argamassas com pozolanas de argila calcinada os teores de ar

incorporado são inferiores aos da argamassa convencional para ambos os traços estudados.

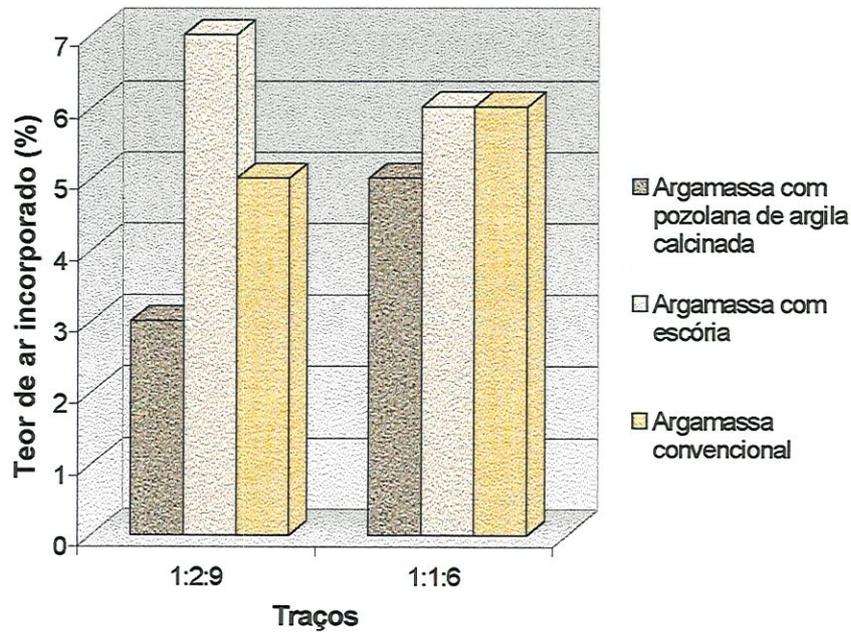


Figura 20 - Teor de ar incorporado em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)

Resistências mecânicas

As análises das figuras 21 e 22 permitem concluir que o desempenho mecânico das argamassas com escória são superiores aos das argamassas com pozolana de argila calcinada, comprovando-se desta forma, a maior reatividade da escória.

As resistências à compressão e à tração das argamassas com materiais pozolânicos apresentam-se maiores que as das argamassas convencionais. As pozolanas podem ser responsáveis por este aumento das resistências, desta forma, como a função mais

importante do cimento Portland é incrementar as resistências, o uso de pozolanas pode significar uma redução no teor de cimento.

As argamassas no traço 1:1:6 de menor relação água/cimento apresentam as maiores resistências, o que ratifica as informações levantadas na bibliografia consultada com relação ao efeito determinante da relação água/cimento sobre a variação das propriedades mecânicas.

O aumento da relação água/cimento reduz as resistências mecânicas, o que pode explicar, em parte, as menores resistências à compressão e à tração das argamassas com pozolanas de argila calcinada, visto que estas argamassas apresentam uma relação água/cimento mais elevada do que as argamassas com escória.

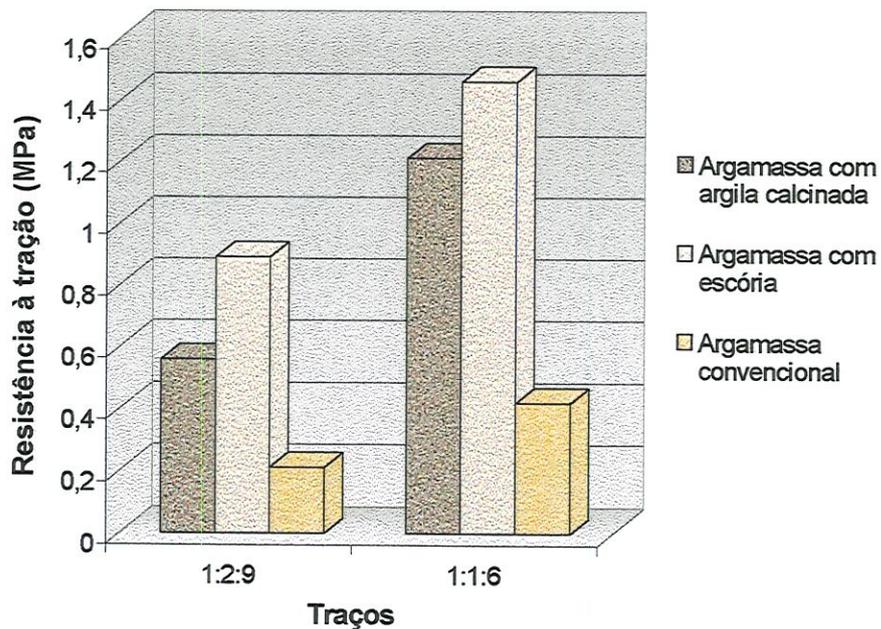


Figura 21 – Resistência à tração em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)

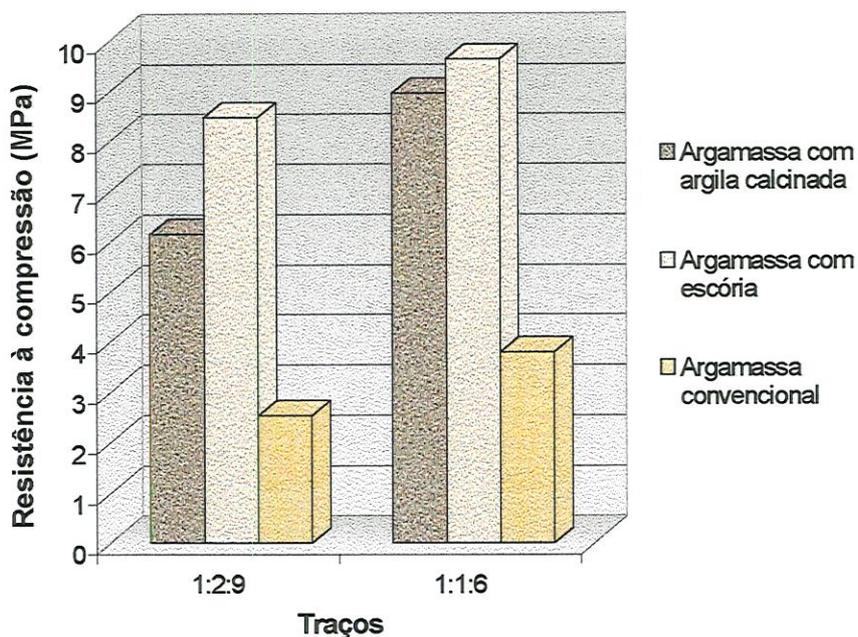


Figura 22 – Resistência à compressão em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)

Aderência

O comportamento das argamassas nos ensaios de resistência de aderência à tração caracteriza-se pela boa aderência das argamassas com escória, cujos valores apresentam-se melhores que os das convencionais, enquanto que as argamassas com pozolana de argila calcinada apresentam as mais baixas resistências de aderência, como mostra a figura 23.

Por outro lado, as argamassas convencionais, mesmo apresentando valores de resistência à compressão e à tração menores que os das argamassas com pozolanas, apresentam boas resistências de aderência. Este fato pode ser explicado pela consistência mais fluida destas argamassas, que propicia uma boa capacidade de aderência.

As argamassas que apresentam as maiores resistências à compressão apresentam também as maiores resistências de aderência, corroborando as informações de CARASEK (1996) sobre a existência de uma relação direta entre as resistências intrínsecas da argamassas e a resistência de aderência. Segundo esta autora, à medida que se aumenta a quantidade de cimento das argamassas obtêm-se maiores resistências de aderência, fato constatado na presente pesquisa, uma vez que o traço 1:1:6 de maior teor de cimento apresenta as maiores resistências de aderência.

Quando são analisadas as formas de ruptura dos corpos de prova, verifica-se uma maior incidência de rompimento na argamassa de revestimento para todos os traços, o que pode indicar falha por coesão.

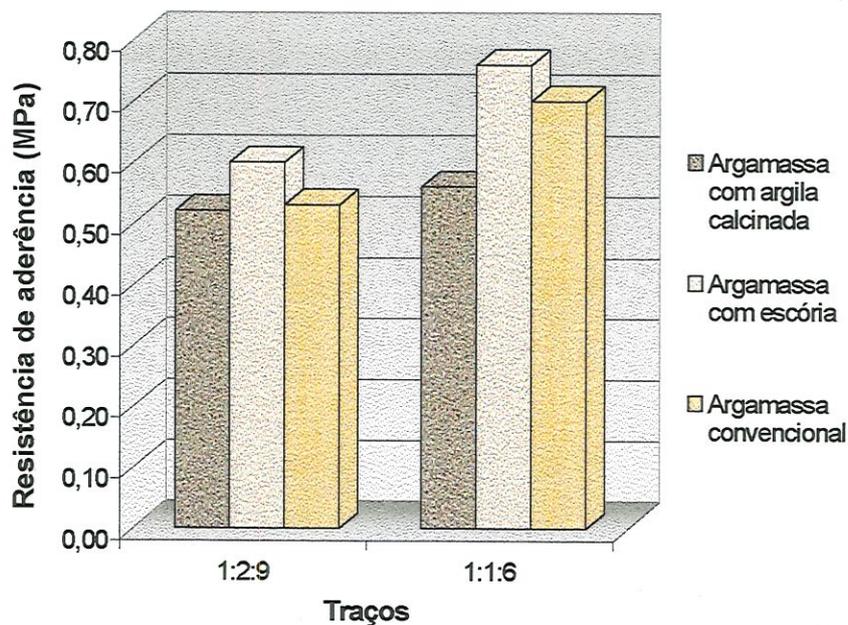


Figura 23 – Resistência de aderência à tração em função dos traços 1:2:9 e 1:1:6 (volume)

Módulo de deformação longitudinal tangente inicial na compressão

Tem-se buscado, por diversas pesquisas, explicar o comportamento do módulo de elasticidade de compósitos de cimento a partir de propriedades de fácil determinação, como a resistência à compressão.

Para tanto, existem alguns modelos matemáticos que exprimem tal relação, e que são obtidos a partir de ensaios experimentais, constituindo-se assim, em correlações empíricas.

Segundo BORTOLUZZO & LIBÓRIO (1998), a relação entre módulo tangente inicial na compressão e a resistência à compressão uniaxial em argamassas inorgânicas é tão evidente, que não depende nem mesmo de parâmetros como idade (grau de hidratação), proporção entre materiais (traço) ou tipo de materiais constituintes.

Ainda segundo o autor, foi possível estabelecer uma função entre estas propriedades a partir de ensaios em argamassas mistas e aditivadas, à 3, 7 e 28 dias de idade, nos traços em volume:

- ◆ 1:0.5:4.5, 1:1:6, 1:2:9 e 1:3:12 de cimento, cal e areia, para argamassas mistas e;
- ◆ 1:3, 1:6, 1:9 e 1:12 de cimento, areia e aditivo incorporador de ar, para as argamassas aditivadas.

A função obtida se segue:

$$E_0 = 786 \cdot \bar{\sigma}_c^{0.56} \text{ (MPa)},$$

onde :

E_0 é o módulo de deformação tangente inicial, em MPa.

$\bar{\sigma}_c$ é a resistência à compressão uniaxial, em MPa.

O Gráfico da figura 24 a seguir, apresenta a função anterior e os resultados experimentais dos quais ela foi encontrada.

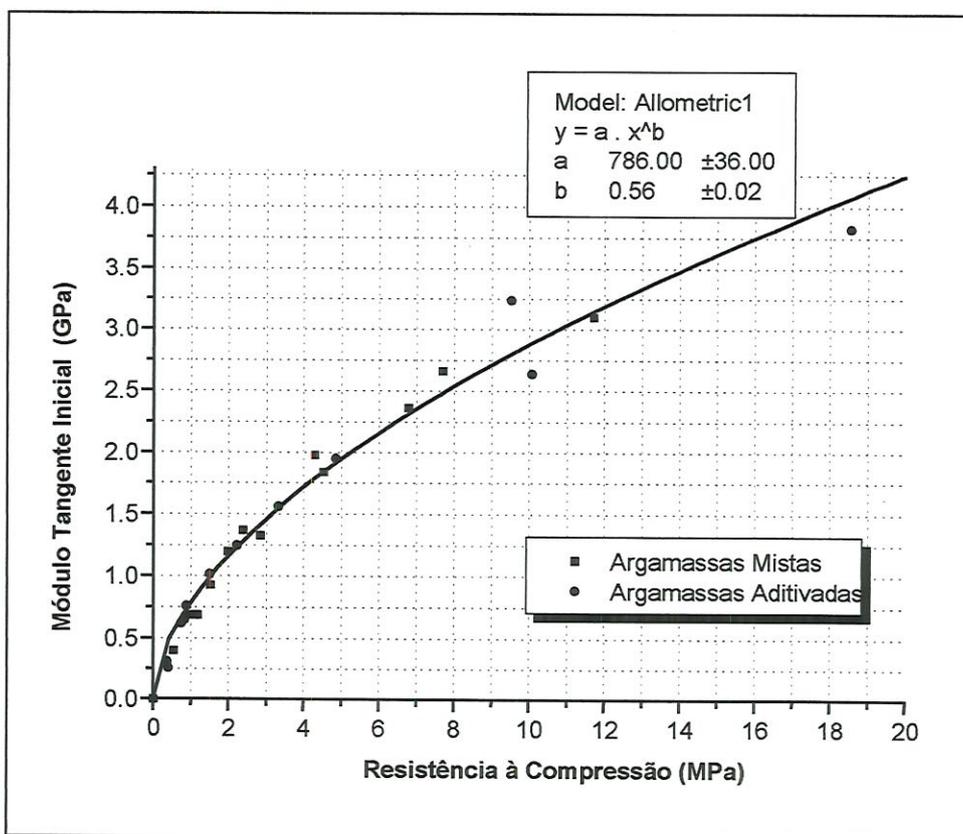


Figura 24 -Correlação entre módulo tangente e resistência à compressão para argamassas inorgânicas (BORTOLUZZO & LIBÓRIO, 1998)

Ressalta-se que os pontos do gráfico descrevem uma relação bem nítida, mesmo que dentre eles entejam resultados de oito traços, em três idades e ainda para materiais constituintes diferentes.

Desta forma, foi possível correlacionar os resultados obtidos por BORTOLUZZO & LIBÓRIO com os resultados obtidos na presente pesquisa, estimando-se assim, os valores do módulo de deformação das argamassas avaliadas, conforme a tabela 39.

Tabela 39 – Módulo de deformação das argamassas

Traço	Resistência à compressão(MPa)		Módulo de deformação (GPa)	
	Argamassa com argila calcinada	Argamassa com escória de alto forno	Argamassa com argila calcinada	Argamassa com escória de alto forno
1:2:9	6,14	8,47	2,20	2,60
1:1:6	8,95	9,63	2,70	2,75

4.2.2 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Conforme indicado na tabela 40, os resultados de ensaios realizados em argamassas equivalentes citadas na literatura são comparados aos resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 40 – Comparação dos resultados²⁰

Traço	Argamassas citadas na literatura		Argamassas propostas na pesquisa			
	1:2:9 (convencional)	1:1:6 (convencional)	1:2:9 (argila calcinada)	1:1:6 (argila calcinada)	1:2:9 (escória de alto forno)	1:1:6 (escória de alto forno)
Características						
Consistência (mm)	265 ⁽¹⁾ 305 ⁽⁵⁾	266 ⁽¹⁾ 245 ⁽⁴⁾	209	206	205	209
Fator a/c	2,36 ⁽¹⁾ 2,72 ⁽⁵⁾	1,47 ⁽¹⁾ 1,40 ⁽⁴⁾	2,30	1,59	2,23	1,57
Retenção de água (%)	93 ⁽¹⁾ 93,55 ⁽²⁾ 97 ⁽⁵⁾	91 ⁽¹⁾ 94,04 ⁽²⁾ 92,11 ⁽⁴⁾	88	88	86	87
Resistência à compressão (MPa)	2,1 ⁽¹⁾ 2,58 ⁽²⁾ 5,0 ⁽³⁾ 2,63 ⁽⁵⁾	5,3 ⁽¹⁾ 4,51 ⁽²⁾ 9,3 ⁽³⁾ 4,61 ⁽⁴⁾	6,14	8,95	8,47	9,63
Resistência à tração (MPa)	0,20 ⁽¹⁾ 0,28 ⁽³⁾ 0,31 ⁽⁵⁾	0,67 ⁽¹⁾ 1,08 ⁽³⁾ 0,51 ⁽⁴⁾	0,56	1,21	0,89	1,46

²⁰

(1) SELMO (1989)
 (2) YOSHIDA & BARROS (1995)
 (3) TRISTÃO & ROMAN (1995)
 (4) CALMON et al. (1997)
 (5) CARASEK (1996)

As argamassas citadas na literatura apresentam valores mais elevados de retenção de água, quando comparadas às argamassas com pozolanas.

No entanto, deve-se levar em consideração que os materiais empregados não são os mesmos, o que pode explicar algumas diferenças entre os resultados. Os valores mais elevados de retenção de água encontrados por SELMO(1989) e CARASEK(1996) podem estar relacionados a natureza da cal ou ao menor módulo de finura das areias empregadas por estes autores, uma vez que, segundo MARTINELLI (1989), com a diminuição do módulo de finura há um crescimento do índice de retenção de água.

Com relação ao desempenho mecânico, as resistências à compressão e à tração das argamassas com pozolanas são superiores as resistências das convencionais citadas na literatura. Como a resistência mecânica da argamassa não depende inteiramente da dosagem do cimento, sendo também devida à secagem e à carbonatação da cal, pode-se então, com o uso de pozolanas, reduzir o teor de cimento sem provocar uma queda abrupta da resistência mecânica.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PROSSEGUIMENTO DA PESQUISA

5.1 - CONCLUSÕES

O adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento na mistura. Assim, o desconhecimento dos materiais utilizados na produção das argamassas é considerado como uma das principais causas dos problemas patológicos encontrados nos revestimentos.

O tipo de materiais empregados na confecção das argamassas tem uma influência decisiva no comportamento das argamassas, uma vez que, ao se alterar os materiais constituintes das mesmas, as suas propriedades, e conseqüentemente, o seu desempenho, irão variar substancialmente.

Neste sentido, a adição de pozolanas às argamassas de cal podem modificar as características destas argamassas, e por isto, tem sido tema de muitos trabalhos que utilizam as pozolanas para melhorar tanto a resistência mecânica quanto a durabilidade das argamassas.

Estas adições podem agir fisicamente como colmatadores de vazios e/ou quimicamente através de uma reação pozolânica.

O uso de argamassas constituídas por misturas de cal e pozolana remonta a séculos anteriores a era cristã, existindo hoje, além dos idênticos materiais usados pelos construtores na Antiguidade, várias pozolanas naturais e artificiais de muitas procedências e largamente distribuídas.

Entre as pozolanas, cita-se a pozolana de argila calcinada e escória de alto forno, cujo emprego em argamassas deveria ser uma prática comum, não só pelas vantagens técnicas que pode trazer, mas também pelo grande excedente destes materiais.

No caso das argilas calcinadas, há uma vasta ocorrência de jazidas argilosas no país. Quanto às escórias, mesmo estando seu uso restrito ao sudeste do país, elas ficam acumuladas em grandes quantidades nas siderúrgicas e o seu emprego vem reduzir os problemas de impacto ambiental gerados pelo aproveitamento industrial dos rejeitos do ferro gusa.

Os materiais pozolânicos apresentam uma tendência futura de maior participação na fabricação das argamassas, em função das diversas vantagens que trazem ao serem adequadamente preparados e misturados às argamassas: podem proporcionar, dentre outras características, melhor trabalhabilidade, redução da exsudação, menor permeabilidade, resistência superior a longas idades, maior resistência a meios agressivos e redução das reações expansivas do tipo álcali-agregado

As pozolanas, mais especificamente as pozolanas de argila calcinada e escórias de alto forno, quando misturadas à cal hidratada,

produzem um aglomerante, a cal pozolânica, de uso promissor. Os resultados obtidos na parte experimental desta pesquisa e em diversas outras pesquisas, indicam que o emprego destas misturas na produção das argamassas é tecnicamente viável.

Assim, as cales pozolânicas apresentam-se como uma alternativa aos materiais tradicionalmente utilizados, necessitando apenas de um estudo mais detalhado, para que possam ser utilizadas adequadamente e com vantagens na indústria da construção civil.

Ressalta-se que as argamassas produzidas com materiais pozolânicos devem ser avaliadas de modo a verificar seu desempenho em relação às argamassas tecnicamente recomendadas ou ao atendimento à parâmetros previamente definidos.

Desta forma, a etapa experimental desta pesquisa teve como proposta a verificação do comportamento de argamassas utilizando-se como aglomerante, o cimento e as pozolanas anteriormente citadas misturadas à cal hidratada.

A partir dos resultados obtidos, a substituição de parte da cal hidratada pelas argilas calcinadas ou escórias de alto forno conduz às seguintes conclusões:

- ◆ os resultados mostram que a escória de alto forno e a argila calcinada possuem elevado poder aglomerante quando misturados adequadamente à cal hidratada;
- ◆ as propriedades das argamassas no estado fresco não apresentam grandes variações nos valores encontrados que pudessem comprometer o desempenho das argamassas;

- ◆ o emprego de pozolanas não interfere na retenção de água, visto que todas as argamassas foram classificadas como de boa retenção de água;
- ◆ os resultados dos ensaios no estado endurecido demonstram ganhos significativos de resistência mecânica quando utilizada a cal pozolânica, que pode ser explicado pelo desenvolvimento do potencial aglomerante das pozolanas empregadas, devido a uma reação pozolânica combinada com efeito “filler”;
- ◆ observa-se a partir dos resultados, uma correlação entre as propriedades mecânicas da argamassa e a resistência de aderência do revestimento;
- ◆ em todos os traços ensaiados, o desempenho mecânico das argamassas com escória é superior aos das argamassas com argila calcinada, o que evidencia a maior reatividade da escória;
- ◆ quando comparada à escória, a pozolana de argila calcinada requer uma quantidade maior de água para uma mesma trabalhabilidade, o que pode estar relacionado a sua área específica mais elevada;
- ◆ a resistência inferior da argamassa com pozolana de argila calcinada decorre muito provavelmente da maior quantidade de água necessária para obtenção da trabalhabilidade desejada, indicando o efeito determinante da relação água/cimento nas resistências mecânicas;

- ◆ percebe-se que a superioridade das argamassas produzidas com materiais pozolânicos frente às convencionais está nas resistências mecânicas.

De uma forma geral, os resultados obtidos nos ensaios estão dentro dos limites especificados na literatura consultada. Constata-se que, com o uso de pozolanas de argila calcinada e escórias de alto forno, tem-se um aumento das propriedades mecânicas sem alterações desfavoráveis no comportamento das argamassas quanto às outras propriedades avaliadas. Assim, como a principal função do cimento é incrementar as resistências mecânicas, pode-se, com o uso de materiais pozolânicos, reduzir o teor de cimento nas argamassas.

No entanto, cabe ressaltar que o emprego das pozolanas estudadas, em argamassas de revestimento, deve ficar também condicionado ao custo e disponibilidade destes materiais.

5.2 - PROSSEGUIMENTO DA PESQUISA

Para aprofundar o conhecimento sobre argamassas com adição de materiais pozolânicos, de modo a proporcionar o suporte técnico necessário ao controle e garantia da qualidade dos revestimentos produzidos, sugere-se:

- ◆ a realização de ensaios de exsudação no estado fresco, e dos ensaios de absorção por imersão, índice de vazios, massa específica, absorção por capilaridade e módulo de deformação no estado endurecido;
- ◆ estudar outras composições para argamassas com cales pozolânicas; avaliar os mesmos traços confeccionados nesta pesquisa, reduzindo-se os teores de cimento;

- ◆ algumas pozolanas podem aumentar a retração por secagem das argamassas, assim faz-se necessário avaliar esta propriedade, para as pozolanas estudadas;
- ◆ análise da microestrutura das pozolanas de argila calcinada e escórias de alto forno, assim como, das cales pozolânicas e argamassas produzidas com estas cales, através das técnicas de difratometria de raios X (DRX), análises termodiferencial e termogravimétrica (ATD-TG) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).
- ◆ Análise da microestrutura da interface argamassa/substrato através de técnicas como a microscopia eletrônica de varredura, com a finalidade de estudar o mecanismo de aderência da argamassas com pozolanas.
- ◆ Um estudo econômico é desejável, de forma a verificar a viabilidade do uso das pozolanas avaliadas, principalmente em algumas regiões do país.
- ◆ Verificar a viabilidade de utilização de outros tipos de pozolanas (por exemplo a sílica da casca de arroz) na confecção de argamassas de revestimento.

ANEXO

Determinações físicas das cales hidratadas do Nordeste (SILVA & MARQUES)

Amostra	Determinações físicas					
	Finura (% retida acumulada)		Estabilidade	Retenção de água	Plasticidade	Incorporação de areia
	0,600mm	0,075mm				
AMORIM	10,0 %	36,4 %	N.A.C.P	70,4%	113	2,5
CALMOL	0,2 %	17,6 %	N.A.C.P	75,6%	130	3,3
CARBOMIL	1,1 %	4,6 %	N.A.C.P	85,7%	*106	3,5
HIDRACO	2,6 %	11,1 %	N.A.C.P	83,3%	125	3,0
HIDRACAL	0,2 %	13,9 %	N.A.C.P	86,6%	50	3,5
JÁ	0,0 %	6,1 %	N.A.C.P	78,0%	186	2,0
MEGAÓ	0,0 %	14,5 %	N.A.C.P	68,0%	*129	3,0
ROSALUX	0,9 %	22,1 %	N.A.C.P	84,1%	50	4,3
SOCAL	0,1 %	3,6 %	N.A.C.P	79,0%	124	2,3
VIVACOR	0,9 %	14,3 %	A.P	75,0%	121	3,5

Obs: N.A.C.P. – Não apresentaram cavidades ou protuberâncias

A.P. –Apresentaram protuberâncias

* -Ocorreram fissuras

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA JR, H. et al. (1995). Avaliação das características de revestimentos produzidos com argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. p.236-246.
- ALVES, T.T. (1938). Origem e desenvolvimento dos cimentos Pozolânicos. *Revista Municipal de Engenharia*, julho.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1985). C 618. *Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete*. Philadelphia.
- ANDRIOLO, F.R. (1975). *A utilização de pozolana na construção do conjunto hidroelétrico de Urubupungá*. Centrais elétricas de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). NBR 5735 – *Cimento Portland de alto forno*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). NBR 5736 - *Cimento Portland pozolânico*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1977).NBR 5751- *Cimentos: Método de determinação de atividade pozolânica em pozolanas*.Rio de Janeiro

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1977).NBR 5752 – *Pozolanas: Determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland*.Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). NBR 5753- *Método de determinação da Atividade pozolânica em Cimento Portland Pozolânico*.Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). NBR 7175 – *Cal hidratada para argamassas*. Rio de janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR 7200 – *Revestimento de paredes e tetos com argamassas – materiais, preparo, aplicação e manutenção*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). NBR 7211 *Agregado para concreto*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR 7214 – *Areia normal para ensaio de cimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 7217 – *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). NBR 7222 - *Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 7224 - *Cimento e outros materiais em pó - Determinação da área específica*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR 7251 - *Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 9776 - *Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). NBR 11578 - *Cimento Portland composto*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13276 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13277 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13278 – *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13279 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13528 - *Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - determinação da resistência de aderência à tração*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13529 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). NBR 13530 - *Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). NBR 13749-*Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas- Especificação*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND-SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL / MIC. (1983). *Caracterização de argilas com propriedades pozolânicas*. São Paulo.

- BARBOSA FILHO, E.L.; PIRES SOBRINHO, C.W.A. (1998). Estudo de argamassas com adições de cinza de casca de arroz e cinza de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7., Florianópolis, 1998. *Anais*
- BATTAGIN, A.F. (1983). *Características das escórias siderúrgicas utilizadas na fabricação de cimento portland*. Estudo técnico. São Paulo, ABCP.
- BATTAGIN, A.F. (1987). *Caracterização das escórias e pozolanas adicionadas aos cimentos portland brasileiros*. ABCP.
- BATTAGIN, A.F. (1988). *Contribuição ao conhecimento das propriedades do cimento portland de alto forno*.
- BAUER, F.L.A. (1985). *Materiais de construção*. Rio de Janeiro. Editora livros técnicos e científicos, 2 ed.
- BAUER, E. et al. (1997). Geração de parâmetros de referência para controle de recebimento de agregados para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*.
- BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. (1997). Influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*.
- BORTOLUZZO, C.W.; LIBÓRIO, J.B.L. (1998). Qualidade em vedações, argamassas e revestimentos. São Carlos. /Relatório FAPESP EESC-USP/

- CALMON, J.L. et al. (1997). Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassa de assentamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*.
- CARASEK, H. (1996). *Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos-avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. São Paulo. 285p. Tese(Doutorado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CARVALHO JR, A.N.; SILVA, A.P.; FRANÇA, E.P. (1995). Estudo comparativo entre argamassas de cimento e argamassas mistas de cimento e cal para uso em emboço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. P.261-270.
- CARVALHO, C.H.; CAVALCANTI JR, D.A. (1997). Argamassas com adição utilizadas em Aracaju. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*. p.162-172.
- CASTRO SOBRINHO, J.F. (1970). *Pozolana como material de construção: sua fabricação artificial em Urubupungá*. São Paulo, ABCP.
- CAVANI, G. R.; ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.M. (1997). Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. Salvador. 1997. *Anais*.

- CINCOTTO, M.A. (1983). Patologia das argamassas de revestimento: Análise e recomendações. *Construção*, São Paulo, n.1839, p.15-20, maio.
- CINCOTTO, M.A.; UEMOTO, K.L. (1986). Patologia das argamassas de revestimento – Aspectos químicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONTRUÇÃO: PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 3., São Paulo, 1986. *Anais*. São Paulo, EPUSP. p.77-84.
- CINCOTTO, M.A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. (1995). Argamassas de revestimento: *Características, Propriedades e Métodos de ensaios*. São Paulo, publicação IPT .
- CINCOTTO, M.A. (1997). Alguns pontos para reflexão e debate. *Obras planejadas e construção*, n.96, p.19-20, novembro.
- COUTINHO, A.S. (1958). *Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos*, Memória n-136 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- COZZA, E. (1996). Aqui e agora. *Construção*, São Paulo, n.2517, p.16-17, maio.
- COWPER, A.D.; BRADY, F.L. (1981). *Pozolanas*. Coletânea de trabalhos sobre pozolanas e cimentos pozolânicos, ABCP. São Paulo.
- ESPER, M.W. (1993). *Contribuição ao estudo de algumas propriedades do cimento portland de alto-forno*. São Paulo. 140p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- FERREIRA, H.C. (1972). *Ensaio de laboratório e especificações para argilas brasileiras visando usos industriais*. São Paulo. 165p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Eng. Química da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FIORITO, A.J.S.I. (1994). *Manual de argamassas e revestimentos*. São Paulo, Pini.
- FRANCHI, C.C. et al. (1993). As perdas de materiais na indústria da construção civil. In:SEMINÁRIO DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., Porto Alegre, 1993. *Anais*. Porto Alegre, s.ed.
- GALVÃO, E.F.; SILVA, C.R.; FERREIRA, H.C. (1994). Influência do fator água/cimento no comportamento mecânico das cals pozolânicas. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 11., Águas de São Pedro, 1994. *Anais*.
- GASTALDINI, A.L.G. (1989). *Influência da finura e da porcentagem de adição de escória de alto forno na estrutura das pastas de cimento portland de alto forno*. São Paulo.185p. Dissertação(Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GASTALDINI, A.L.G. et al. (1996). Influência das adições minerais na porosidade de pastas de cimento Portland. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4., São Paulo, 1996. *Anais.v.1*, p.119-136.
- GIBBONS, P.(1998). Pozzolans for lime mortars. <http://www.buildingconservation.com/lime/pozzo.html> (24 jan).

- GUIMARÃES, J.E.P. (1984). A cal - Sua origem, seus tipos, suas aplicações, sua importância econômica e social, sua participação nas obras e nas argamassas da engenharia civil. *Cerâmica*, v.30, n.169, p.21-34, jan.
- HEINECK, L.F.M.; TRISTÃO, A.M.D. (1995). A racionalização na produção de argamassas através de inovações tecnológicas simples. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, FG/ANTAC. p.357-363.
- IOPPI, P.R.; PRUDÊNCIO, L.R.; IRIYAMA, W.J. (1995). Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: metodologias de ensaio e influência na aderência das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. p.93-102.
- KIHARA, Y.; SHUKUZAWA, J.K. (1982). Contribuição ao estudo de pozolanas no Brasil. *Cerâmica*, v28., n.145., p.15-23, janeiro. / Apresentado ao XXV Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 1981.
- KIHARA, Y.; ESPER, M.W. (1986). *Perfil dos cimentos portland pozolânicos brasileiros*. São Paulo, ABCP.
- KOPSCHITZ, P. et al. (1997). Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. Salvador, 1997. *Anais*. p.120-132.

- LARA, D. et al. (1995). Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC, p.63-72.
- LEA, F.M. (1938). The chemistry of pozzolans. In: SIMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, STOCKHOM.
- LEVY, S.M.; MARTINELLI, F.A.; HELENE, P.R.L. (1997). A influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. Salvador, 1997. *Anais*. p.50-63.
- LIMA, J.B.M. (1993). *Cais pozolânicas, caracterização e desempenho mecânico* Campina Grande. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba.
- MACIEL, L.L. (1997). *O Projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassas de fachada*. São Paulo. V1 e V2. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MARQUES, J.C. (1994). *Escória de alto forno: estudo visando seu emprego no preparo de argamassas e concretos*. São Paulo. 175p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MASSAZZA, F. (1993). Pozzolanic Cements. *Cement & Concrete Composites*, n.15, p.185-214.

- MARTINELLI, F.A. (1989). *Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias*. São Paulo. 179p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MEDEIROS, J.S; SABBATINI, F.H.(1994). Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., Florianópolis, 1994. *Anais*. P.594-607.
- METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994). *Concreto:estrutura, propriedades e materiais*.São Paulo, PINI.
- MOTA, N.B. (1994). *Cais pozolânicas para uso em argamassas de revestimento e alvenarias*. Campina Grande. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Paraíba.
- MOTA, N.B.; COSTA, C.R.V.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. (1994). Argamassas alternativas com cais pozolânicas para uso em construção civil. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA,38. Blumenau, 1994. *Anais*. Santa Catarina, p.1312-1317.
- MURAT, M. (1983a). Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals. I - Preliminary investigation on metakaolinite. *Cement and Concrete Research*, Elmsford, 13 (2): 259-66.
- MURAT, M. (1983b). Influence of mineralogical properties of the raw-kaolinite on the reactivity of metakaolinite. *Cement and Concrete Research*, Elmsford, 13(4):511-8.

- MURAT, M. & COMEL, C. (1983). Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals. III - Influence of calcination process of kaolinite on mechanical strengths of hardened metakaolinite. *Cemente and Concrete Research*, Elmsford, 13(5):631-7.
- MURAT, M.; AMBROISE, J.; PÉRA, J. (1986). Les différents procédés d'activation des minéraux argileux permettant d'élaborer des liants pouzzolaniques à résistances optimales. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE QUÍMICA DO CIMENTO, 8., Rio de Janeiro.
- NASCIMENTO, O.L. et al. (1997). Argamassas reforçadas com fibras para regiões de esforços diferenciados na alvenaria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*. P.287-295.
- NEVES, G.A.; LIMA, J.B., FERREIRA, H.S., FERREIRA, H C. (1994). Estudo comparativo do comportamento mecânico de argamassas convencionais e alternativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 11., Águas de São Pedro, 1994. *Anais*. São Paulo, p.1313-1316.
- NEVES, C. et.al. (1995). A influência do caulim no comportamento das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. P. 219-225.
- NEVES, C. et al. (1997). Arenosos da região metropolitana de Salvador-características para seu emprego em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. *Anais*. p.38-49.

- NEVILLE, A.M. (1997). *Propriedades do concreto*. Tradução de Salvador Eugênio Giammusso. São Paulo, PINI.
- NORTON, F.H. (1896). *Introdução à tecnologia cerâmica*. Trad. por Jefferson Vieira de Souza (1973). São Paulo, Edgard Blücher.
- PICCHI, F.A. (1995). Gestão da qualidade: impacto na redução de desperdícios. In: SEMINÁRIO GERENCIAMENTO VERSUS DESPERDÍCIO, São Paulo, 1995. *Anais*. São Paulo, Édile, 1995.
- PRICE, W.H. (1981). *Pozolanas: uma revisão*. Coletânea de trabalhos sobre pozolanas e cimentos pozolânicos, ABCP. São Paulo.
- PRISZKULNIK, S. (1981). *Pozolanas para aglomerantes de construção civil*. Coletânea de trabalhos sobre pozolanas e cimentos pozolânicos, ABCP. São Paulo.
- RAGO, F.; CINCOTTO, M.A. (1995). A reologia da pasta de cimento e a influência da cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. P-25-32.
- RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX, RILEM. (1982). *Recommendations MR 1-21: testing methods of mortar and renderings*. Paris.
- RUAS, A.P.L. (1977). Produção de pozolanas artificiais. In: REUNIÃO DE TÉCNICAS DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, 25. ABCP, São Paulo.

- SABBATINI, F.H. (1984). *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária*. São Paulo. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SABBATINI, F.H. (1986). Patologias das argamassas: aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONTRUÇÃO: PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 3., São Paulo, 1986. *Anais*. São Paulo, EPUSP. P.69-76.
- SANTANA, A.M.S. (1993). Os reflexos da falta de qualidade na construção-Estudos das patologias de revestimento internos nos prédios da UFSC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, 1993. *Anais*.v1.
- SANTIN, E. (1998). Tudo certo no reino. *Téchne*, n.32, p.14-16, jan/fev.
- SANTOS, S.; PRUDÊNCIO Jr, L.R. (1998). Estudo comparativo da pozolanicidade de cinza volante e cinza de casca de arroz residual. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Florianópolis, 1998. *Anais*.
- SCANDIUZZI, L.; ANDRIOLO, F.R. (1981). Materiais pozolânicos: utilização e benefícios. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). *Colóquio sobre concreto massa*, São Paulo.
- SELMO, S.M.S. (1989). *Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios*. São Paulo. 187p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- SILVA, E.; FLORINDO, M.C.; ALMEIDA, C. (1991). Estudo e avaliação comparativa do poder aglomerante da escória de alto-forno granulada. *Construção*, São Paulo, n.2252, encarte técnico IPT/PINI 20 e 21, março.
- SILVA, C. R. (1992). *Cais aditivadas com pozolana e cimento portland*. Campina Grande. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal da Paraíba.
- SILVA, C. R., MARQUES, J.C. (1994). *Caracterização física de cales hidratadas do Nordeste Brasileiro segundo normas da ABNT*. Relatório de estágio, São Paulo - IPT/UFPA.
- SILVA, A.S.R. et al. (1997). Argamassas inorgânicas para assentamento e revestimento com o emprego de adições (arenoso e caulim) utilizadas na região de Salvador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2. Salvador, 1997. *Anais*.
- SILVEIRA, A.A.; DAL MOLIN, D.C.C. (1995). A influência do tratamento térmico da cinza de casca de arroz na pozolanicidade e na resistência à compressão de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. p.15-24.
- SIQUEIRA, N.M.; CINCOTTO, M.A. ; JOHN, W. (1995). Influência da fração carbonática da cal hidratada no desempenho de revestimentos em argamassas de camada de camada única. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. UFG/ANTAC.

- SOUZA, E.B.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. (1996). Otimização do comportamento mecânico de cais pozolânicas. *Cerâmica*, v.42, n.275, p.278-280, mai/jun.
- SOUZA SANTOS, P. (1975). *Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras*. São Paulo, Edgard Blücher.
- SOUZA SANTOS, P.S. (1992). *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo, Edgard Blücher.
- THOMAZ, E. (1989) *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. São Paulo.PINI.
- TRISTÃO, F.A.; ROMAN, H.R. (1995). Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades mecânicas das argamassas de revestimento das edificações.In:SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC.p226-235.
- VALENTIN, J. (1997). Produtos e normas para revestimento. *Obras planejadas e construção*, n.96, p.22-32, november.
- VARGAS, N. (1996). Cultura para construir. *Construção*, São Paulo, n.2251, p.6-9, jun.
- VENUAT, M. (1977). Cimento de escória - como é fabricado e quando se deve aplicar. *Construção Pesada*, julho.
- VERÇOSA, E.J. (1975). *Materiais de construção*. Editora Sagra S/A.

VOROBYEV, V.A. (1962). *Building Materials*. Moscow: Higher School Publising House.

YOSHIDA, A.T.; BARROS, M.M.S.B. (1995). Caracterização de argamassas no estado fresco-peculiaridades na análise de argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1. Goiânia, 1995. *Anais*. Goiânia, UFG/ANTAC. P.53-62.

ZAMPIERI, V.A. (1989) *Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas*. São Paulo, 191p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ZAMPIERI, V.A. (1993). *Cimento Portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico*. São Paulo, 233p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ACI COMMITTEE 232. (1994). Proposed report: Use of natural pozzolans in concrete. *ACI Materials Journal*, July-August.

CALLEJA CARRETE, J. (?). *Las Pozolanas*.

CINCOTTO, M.A (1990). Características da cal para argamassas. *Construção São Paulo*, n.2224, p.31-34, set.

CINCOTTO, M.A, MARQUES, J.C., HELENE, P.R.L. (1985). Propriedades das argamassas cimento:cal:areia. In: SEMINÁRIO SOBRE ARGAMASSAS. São Paulo, 1985.

DREVO, J; SLOUKOVÁ, H. (1982). *Pozzolanas and their application in binding material manufacture*. Research and Development Institute of Binding Materials and Asbestos Cement. Czechoslovakia.

GITAHY, H.S. (1963). *O problema dos agregados para os concretos da barragem de Jupia*. São Paulo, IPT.

INDIAN STANDARDS INSTITUTION.(1986). *Specification of burnt clay pozzolana*; IS 1344. New Delhi.

- KIHARA, Y. (1986). Microssílica: uma nova pozolana artificial. *Cerâmica*, v.32, n.200, p.211-214, set.
- KIHARA, Y. (1986). O estudo das cinzas volantes brasileiras. *Cerâmica*, v.32, n.193, p.31-38, fevereiro.
- KIHARA, Y; ZAMPIERI, V.A .(1992).Experiência brasileira na pesquisa e produção de pozolana de argila calcinada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 36. Caxambu, 1992. *Anais*. Caxambu, Associação brasileira de cerâmica, 1992. V2. P.923-9.
- LEA, F.M. (1970). *The Chemistry of cement and concrete*. 3ed., Edward Arnold, London.
- MIELENZ, R.C. & WITTE, L.P.& GLANTZ, O.J. (1949). Effect of calcination of natural pozzolans. In: SYMPOSIUM ON USE OF POZZOLANIC MATERIALS IN MORTARS AND CONCRETES- American Society For Testing Materials (ASTM)., San Francisco, Calif., october. *Special Technical Publication*, n.99.
- SAAD, M.N. ; ANDRADE, W.P. ; PAULON, V.A. (1983). Propriedade do concreto massa contendo pozolana de argila. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). *Colóquio sobre concreto massa*, São Paulo.
- SAAD, M.N.; OLIVEIRA, P.J.R.; SALLES, F. M. (1983). Avaliação das propriedades pozolânicas de argilas e cinzas volantes. In INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). *Colóquio sobre concreto massa*, São Paulo.

SOUZA SANTOS, P.; SANTOS, H.L.S. (1966). *Desenvolvimento de argilas brasileiras para diversos usos tecnológicos*. São Paulo./Publicação técnica - IPT/

SOARES, A.K. (1981). *Cimento Portland pozolânico*. Coletânea de trabalhos sobre pozolanas e cimentos pozolânicos, ABCP. São Paulo.