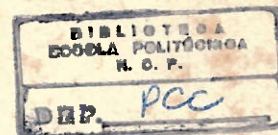




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Construção Civil



boletim técnico : 02/86

ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA PAREDES DE ALVENARIA RESISTENTE

FERNANDO HENRIQUE SABBATINI



Boletim patrocinado pela

COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ

ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA PAREDES DE ALVENARIA RESISTENTE

Fernando Henrique Sabbatini (*)

PALAVRAS CHAVES:

Alvenaria, alvenaria estrutural, argamassas, tecnologia construtiva.

RESUMO:

A argamassa de assentamento tem uma influência crítica no desempenho funcional de uma parede resistente. No entanto no Brasil esta influência não tem sido corretamente compreendida e o conhecimento das argamassas vem sendo absolutamente negligenciado.

No trabalho são definidas as funções e as características que as argamassas devem possuir para prove-las adequadamente. As principais propriedades são conceituadas e discute-se a variabilidade destas propriedades para as argamassas de cal e cimento. É ainda apresentada a metodologia adotada em outros países para a avaliação das características das argamassas bem como as composições recomendadas na queles países.

O trabalho conclue pela urgente e absoluta necessidade de se executarem pesquisas tecnológicas no campo das argamassas de assentamento sem o que continuar-se-á observando uma ocorrência anormal e desastrosa de problemas patológicos na alvenaria estrutural.

(*) Fernando Henrique Sabbatini. Professor de Tecnologia da Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Coordenador das linhas de pesquisas em argamassas e em alvenaria estrutural do Laboratório de Construção Civil da EPUSP.

ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA PAREDES DE ALVENARIA RESISTENTE

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em uma parede de alvenaria resistente, composta por dois componentes: o bloco ou tijolo e a junta de argamassa, a influência desta no desempenho funcional da parede é crítica, principalmente se a parede for exterior à edificação e aparente (sem revestimento protetor).

No entanto, no estágio atual de desenvolvimento da alvenaria estrutural no Brasil, esta influência não é corretamente compreendida e o conhecimento das argamassas vem sendo absolutamente negligenciado.

Acredita-se que isto ocorra porque se confunde as características desejáveis de uma argamassa de assentamento com as da argamassa constituinte do concreto de cimento Portland. Para esta última é exigida, basicamente, a resistência a esforços mecânicos, enquanto que para a argamassa de assentamento são fundamentais as características de trabalhabilidade, aderência e deformabilidade (quando endurecida) tendo a resistência uma importância secundária.

Como efeito, observa-se nas edificações de alvenaria estrutural uma ocorrência anormal de problemas patológicos, com origem no emprego de argamassas inadequadas.

As argamassas, de maneira geral, são materiais de construção sem forma ou função definidas. As argamassas de assentamento também não têm forma definida, mas possuem uma função específica: destinam-se ao assentamento de unidades de alvenaria. A junta de argamassa é um componente com forma e funções bem definidas (ver 2). Neste trabalho utilizar-se-á o termo argamassa para referir-se, no geral, à argamassa de assentamento e como simplificação do termo junta de argamassa exceto quanto isto puder gerar confusão.

2. AS FUNÇÕES PRIMÁRIAS E AS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

2.1. Conceituação

Segundo o código "Walling" [1] da British Standards Institution, as funções primárias das juntas de argamassa em uma parede de alvenaria são:

- i) Unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- ii) Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- iii) Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita e,
- iv) Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Plummer [2] faz uma comparação com o concreto para definir enfaticamente a função da argamassa de assentamento: "Os ingredientes principais das argamassas de alvenaria e do concreto são equivalentes e, por esta razão, a teoria que tem prevalecido nas últimas décadas é a de que os materiais e métodos que produzem concretos resistentes e duráveis são aplicáveis a argamassas de alvenaria. Ensaios de laboratório, bem como o comportamento de estruturas de alvenaria indicam que, em muitos casos, isso não é verdade. Tal concepção errônea é evidente se se considerar que o concreto por si próprio é um material estrutural, enquanto que a argamassa é empregada para unir componentes estruturais entre si, e portanto age como adesivo e selante. Por esta razão, a função primária de uma argamassa de alvenaria é desenvolver uma completa, resistente e durável aderência

entre as unidades de alvenaria".

Davison [3] resume as funções em uma única: "A função fundamental da argamassa (de assentamento) é unir as unidades de alvenaria constituindo um todo monolítico".

Para que a argamassa tenha capacidade de prover as funções citadas ela deve apresentar as seguintes características [1,3,4]:

- i) Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- ii) Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;
- iii) Adquirir rapidamente alguma resistência após assentada para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- iv) Desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria de que faz parte. Não deve, no entanto, ser mais resistente que os blocos que ela une;
- v) Ter adequada aderência aos blocos a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água de chuva;
- vi) Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo;
- vii) Ter suficiente resistência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais (de pequena amplitude) da parede de alvenaria, sem fissurar.

A quantificação destas características é fortemente dependente não só do tipo e composição da argamassa, mas também das características da unidade de alvenaria que ela irá unir. De maneira geral, não existe parametrização limitante para estas características. A seguir analisar-se-ão qualitativamente as principais propriedades das argamassas.

2.2. Trabalhabilidade

Davison [3] afirma que "A trabalhabilidade é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico". E de acordo com Isberner [5]: "A trabalhabilidade é igualmente difícil de ser definida e de ser medida".

Apesar de o pedreiro reconhecer a trabalhabilidade de uma argamassa facilmente ao manuseá-la com sua colher, é impossível mensurá-la em laboratório pois ainda segundo Isberner [5 e 6] ela é uma propriedade de avaliação indefinível, arbitrária e pessoal sendo na realidade uma combinação de várias características reológicas da argamassa: plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade.

Qualitativamente, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando: distribui-se facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias; "agarrar" à colher de pedreiro (quando transportada e não "agarrar" quando distribuída no tijolo); não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com blocos de sucção elevada e, permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente no nível e no prumo.

A importância da trabalhabilidade é que pelas suas características reológicas e por influir diretamente na qualidade do serviço do pedreiro, todas as demais propriedades desejáveis a ela se subordinam. Segundo Davison [3] boa trabalhabilidade

dade e boa retenção de água são fatores essenciais para uma máxima aderência entre as unidades de alvenaria. Sahlin [7] afirma que sem uma boa trabalhabilidade de as chances de se ter juntas uniformes (bem preenchidas) são muito pequenas.

A trabalhabilidade resulta do efeito de rolamento dos grãos de agregados lubrificados pela pasta cimentante e relaciona-se com três parâmetros: o atrito interno, a coesão e a viscosidade [8]. No entanto, segundo os autores, Bombléd & Kalvenes a quantificação destes parâmetros é problemática.

Assim a medida de trabalhabilidade é feita indiretamente através de uma correlação com a consistência da argamassa. Esta pode ser conceituada como a característica da argamassa que faz com que ela resista às deformações [9].

As argamassas são classificadas, segundo a sua consistência, em seca, plástica e fluída. Na Figura 1, de Rosello [10] definem-se esquematicamente as três consistências. Estas são determinadas pela película de pasta que rodeia os grãos de areia. Na argamassa seca a pasta só preenche os vazios entre os grãos, permanecendo estes em contato, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica uma fina película de pasta "molha" a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluída, as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar — a argamassa se esparrama tal qual um líquido.

Shalon & Soroka [11] pesquisando as consistências reais adotadas por diferentes oficiais pedreiros chegaram a três importantes conclusões: a consistência adequada para um pedreiro não o é para outro; ela é uma qualidade da argamassa de escolha individual de cada pedreiro e não pode ser generalizada e os oficiais pedreiros têm a capacidade de manter uma dada consistência (a ideal para cada um deles) constante qualquer que seja a composição (proporção) da argamassa.

Influem na consistência de uma argamassa: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante. No item 4 estes fatores são analisados.

2.3. Retenção de água

CONCEITO:

A retenção de água é entendida como a capacidade que a argamassa possui de reter a água que contém quando colocada em contato com blocos de alta sucção [7]. Não se define a retenção de água contra a evaporação.

"A capacidade de retenção de água está intimamente relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante. Uma argamassa tende naturalmente a conservar a água necessária para molhar a superfície dos grãos de areia e do aglomerante [10]". Porém a água em excesso é facilmente cedida por efeito da sucção da base onde é assentada.

Portanto aumenta-se a capacidade de retenção de água aumentando-se a superfície específica dos constituintes ou utilizando-se aditivos que por suas características absorvam a água (por exemplo, derivados da celulose) ou impeçam a percolação da água (aeradores). A cal apresenta boas características de retenção de água não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido à grande capacidade adsorptiva de seus cristais (até 100% do seu volume).

A capacidade de retenção de água de uma argamassa varia largamente com o potencial de sucção do bloco. Davison [12] observou que para diferentes tipos de argamassa a perda de água por sucção é crescente em função do IRA dos blocos até valores de sucção entre 30 e 50 g por minuto por 194 cm², diminuindo para blocos com IRA maiores. O gráfico da Figura 2 ilustra tal variabilidade.

ATENÇÃO:

Em não ocorrendo uma retenção adequada de água (em excesso) pela argamassa irá ocorrer que: a absorção excessiva de água pelo bloco irá expandi-lo aumentando o potencial de retração na secagem; a argamassa perdendo rapidamente muita água provocará uma diminuição na resistência de aderência à apresentar-se-á mais rí-

gida (maior módulo de deformação) quando endurecida, o que implica em menor capacidade de absorver deformações; a argamassa poderá ter reduzida sua resistência pois a hidratação do cimento e a carbonatação da cal serão prejudicadas com a perda inadequada de água. Em decorrência destes fatores haverá ainda prejuízo na durabilidade e na estanqueidade da parede.

2.4. Capacidade de aderência

A aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela depende também das características da base [9].

CONCEITO:
A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se. Desta resistência depende a monolicidade da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por: deformações volumétricas (por exemplo: retração hidráulica e dilatação térmica); carregamentos perpendiculares excêntricos; esforços ortogonais à parede (cargas de vento), etc.

Para a argamassa conceitua-se a capacidade de aderência: para um determinado suporte é a capacidade que a argamassa tem de fazer com que a interface entre ambos apresente uma certa resistência de aderência.

Decorre deste conceito a possível sistemática de avaliação da capacidade de aderência de uma argamassa: confecção de corpos de prova empregando os blocos aos quais ela poderá vir a unir.

Não existe no entanto, uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência. Por exemplo, aumentando o teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência. Depende das características da base. O mesmo se conclui com o aumento da capacidade de retenção de água ou outras características variáveis da argamassa.

Temos assim que na alvenaria estrutural é uma abstração quantificar a capacidade de aderência de uma argamassa de assentamento pois essa propriedade não possui sentido para a argamassa isolada. Quantifica-se diretamente a resistência de aderência do conjunto bloco-argamassa.

2.5. Resistência à compressão

A resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento e aumenta continuamente com o tempo. As argamassas exclusivamente de cal e areia desenvolvem uma resistência pequena e de maneira lenta e cujo valor depende muito da umidade apropriada e da adequada absorção do dióxido de carbono do ar para ser atingida. Ao contrário, as argamassas de cimento dependem menos, para desenvolver a resistência à compressão esperada, das condições ambientais.

A resistência requerida para uma argamassa a ser empregada na alvenaria estrutural irá variar com a resistência à compressão dos blocos. No entanto, como foi destacado por inúmeros pesquisadores, dentre eles Andrews [4] já em 1950: "A resistência da parede de alvenaria construída com blocos de resistência intermédia não é muito influenciada pela resistência da argamassa como frequentemente se supõe".

Davison [3] esclarece que: "Talvez por causa da confusão entre concreto e argamassas de assentamento (ver 2) a importância da resistência à compressão tem sido muito enfatizada. Resistência de aderência é mais importante, bem como boa trabalhabilidade e retenção de água ...". Ou ainda, de Klein "... A execução habilidosa da alvenaria tem muito maior importância (que a resistência à compressão da argamassa)".

E de Rosello [10] a consideração de que: "As medidas diretas da resistência da argamassa não são válidas para se conhecer a qualidade da obra ...".

Os motivos para ainda hoje se ensaiar a resistência à compressão cubos e cilindros de argamassa empregados na alvenaria estrutural são: O ensaio permite um controle estatístico da qualidade da argamassa em si [10] e justifica-se também porque a resistência à compressão reflete o grau de hidratação da argamassa (que tem influência em outras características de desempenho [5], por exemplo: durabilidade da própria argamassa).

2.6. Resiliência

No sentido restrito do termo, a resiliência ou "elasticidade" de uma argamassa é a capacidade que ela possui de se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas e de retornar à dimensão original quando cessam estas solicitações.

No entanto, este sentido é estendido, no caso de argamassas, para o estado tal de deformação (plástica) em que a ruptura ocorre sob a forma de fissuras microscópicas ou capilares não prejudiciais.

As fissuras prejudiciais são aquelas que permitem a penetração da água de chuva através da parede ou que pelas suas características trazem prejuízos aos requisitos do usuário de ordem psico-sociais (estética, temor pela segurança). Não estão relacionadas com a estabilidade da alvenaria ou estado limite de fissuração. Por isto o conceito é estendido para o estado de ocorrência de deformações plásticas.

A resiliência de uma argamassa (com o sentido descrito) está inversamente relacionada com o valor do seu módulo de deformação (e com a resistência à compressão). Segundo Hilsdorf [13], o módulo de deformação para argamassas mistas pode ser estimado por $E_a = 1000 f_{aj}$ (relação linear entre o módulo de deformação E_a e a resistência à compressão f_{aj} , segundo DIN 18555 aos 7 dias de idade). Deve-se frisar que esta correlação só tem validade para os materiais empregados na Alemanha Ocidental.

Segundo Hedstrom et al. [14] o termo "argamassa fraca" implica em uma argamassa com baixo módulo de deformação e que permite movimentos sem fissuras prejudiciais" ou ainda da recomendações da BRS [15]: "Uma argamassa mais fraca irá acomodar pequenos movimentos e as fissuras irão se distribuir como fissuras capilares nas juntas".

2.7. Durabilidade — Relacionada às condições de exposição.

As argamassas podem ter a sua integridade comprometida por uma série de fatores dentre os quais temos: retração na secagem; absorção de água de chuva; temperaturas de congelamento; choque térmico; agentes corrosivos atmosféricos; agentes agressivos biológicos. A análise pormenorizada do desempenho das argamassas sujeitas à ação de agentes agressivos não cabe no contexto deste trabalho.

A retração na secagem é um parágrafo à parte. Ela ocorre sempre, pois as argamassas são materiais com um teor de água em excesso (além da quantidade necessária para a combinação química dos aglomerantes). No entanto, o prejuízo maior que a retração na secagem da argamassa de assentamento pode causar não é o comprometimento da sua durabilidade, mas devido ao fato de que esta retração pode prejudicar sensivelmente o desempenho da alvenaria. Isto ocorre quando ela tem uma participação significativa no aparecimento de fissuras prejudiciais na interface bloco-argamassa. Assim, a análise do fenômeno ganha importância. A influência da retração na secagem das argamassas é melhor compreendida estudando-se a parede de alvenaria e por isto não cabe no contexto deste trabalho.

3. TIPOS DE ARGAMASSA

3.1. Argamassa de cal

A argamassa tradicional de alvenaria é feita de areia e cal. A pasta de cal,

suspensão coloidal de hidróxido de cálcio, preenche os vazios entre os grãos de areia, proporcionando trabalhabilidade e retenção de água otimizada em comparação com outros tipos de argamassas, principalmente se a cal utilizada possuir um alto teor de óxidos de cálcio e for empregada sob a forma de pasta extinta (e não em pó, hidratada). A argamassa de cal desenvolve resistência lentamente e os valores máximos são pequenos, além do que para atingir estes valores ele requer condições ambientais específicas, como a manutenção da umidade e a garantia de acesso de dióxido de carbono durante todo o tempo de endurecimento. Além disso, ela não dá pega, endurecendo inicialmente por perda de água para os blocos e por evaporação. Por estas razões, as argamassas de cal não são recomendadas para a alvenaria estrutural.

3.2. Argamassa de cimento

As argamassas de cimento Portland adquirem resistências elevadas com rapidez e portanto desenvolvem, sem problemas, resistências adequadas para suportar as cargas durante uma construção de alvenaria estrutural. Mas, não se pode ajustar a resistência requerida para uma argamassa simplesmente variando a proporção relativa de cimento e areia. Isto porque misturas pobres não possuem trabalhabilidade adequada e a mistura normal (traço 1:3 (cimento, areia, em volume)) ou as ricas, além de antieconômicas, podem vir a ser deletérias em função das condições de uso [18].

Estas razões fazem com que as argamassas de cimento tenham uso restrito na alvenaria estrutural. São empregadas em situações especiais [15] como por exemplo: fundações em solos agressivos; fundações abaixo do nível freático ou ainda quando são utilizados blocos de altíssimas resistências à compressão ("engineering bricks"), não fabricados no Brasil.

Afora os casos específicos, não se recomenda a utilização de argamassas de cimento na alvenaria estrutural [1,18,15].

3.3. Argamassas mistas de cal e cimento

Argamassas feitas com apropriadas proporções de cal e cimento possuem as propriedades e vantagens das argamassas feitas com cada material.

Os ingleses [1,15] utilizam a proporção 1:3 (cimento+cal:areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que com esta proporção os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante. E assim ao se alterarem as proporções relativas de cal e cimento, a trabalhabilidade fica mais ou menos assegurada, independentemente das modificações.

Este tipo de argamassa é a de emprego mais adequado na alvenaria estrutural não armada.

3.4. Argamassas com aditivos

As argamassas de cimento com pequena proporção deste em relação à areia podem ser empregadas se a elas foram adicionados aditivos plastificantes. Estes aditivos, geralmente aeradores (vinsol), tornam a argamassa trabalhável e com capacidade de retenção de água.

A desvantagem desta argamassa, segundo Ragsdale & Raynham [18], é que comparada com uma argamassa mista de cal e cimento de propriedades semelhantes seu custo é maior. Além disto o teor de aditivo é crítico e quantidades incorretas podem trazer consequências adversas.

No Brasil estas argamassas têm sido muito pouco utilizadas na alvenaria estrutural pois, além das desvantagens citadas, são raros os estudos sobre a tecnologia adequada de utilização.

As argamassas adesivas (cimento-cola) que também podem ser classificadas junto

com as anteriores são argamassas compostas de agregados inertes de granulometria fina, "fillers" minerais, cimento Portland, aditivos plastificantes e resinas solúveis em água. Em função de sua composição apresentam grande capacidade de aderência e elevada resistência quando endurecidas. São comercializadas prêmisturadas necessitando apenas uma dosagem adequada de água.

No entanto, não são recomendadas para a alvenaria estrutural, pois em função do seu custo e tecnologia de utilização devem ser aplicadas em camadas pouco espessas (2 a 3 mm) o que conduz a estruturas de alto módulo de deformação, incapazes de absorverem as deformações naturais sem apresentarem rupturas macroscópicas.

3.5. Argamassas de cimento de alvenaria

O cimento de alvenaria é um cimento especial composto por cimento Portland e um "filler" mineral (geralmente calcário, finamente moído), com adição ou não de aditivos. Em tese, a argamassa produzida com este cimento seria adequada para uso na alvenaria estrutural.

No entanto, seu uso deve ser feito com cuidado (os ingleses recomendam [1] que seja empregada na alvenaria estrutural só após estudos específicos), pois a tecnologia de seu emprego não está bem consolidada entre nós (falta tradição de uso e estudos comprobatórios da sua adequabilidade) e sua qualidade é muito variável de fabricante para fabricante.

4. A VARIAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS MISTAS DE CAL E CIMENTO

4.1. Com a variação das proporções dos constituintes

Como foi visto, as argamassas mais adequadas para o emprego em parede de alvenaria resistente são as argamassas mistas de cal e cimento. Assim o estudo da variação nas propriedades das argamassas feito neste item (4.1 a 4.4) restringir-se-á a estas.

Ao se alterar as proporções relativas dos materiais constituintes de uma argamassa: cimento, cal e areia, as suas propriedades irão variar substancialmente. No Brasil, são escassos os estudos voltados para a quantificação destas variações. Os dados disponíveis referem-se a trabalhos de pesquisa executados em outros países e que têm resultados restritos, pois relacionam-se com as características dos materiais empregados (citados nos trabalhos originais) naqueles países.

No entanto, de maneira geral, ao se substituir em uma argamassa de composição padrão (relação constante de uma parte de aglomerante para três partes de areia seca, em volume) gradativamente o cimento pela cal, desde que se mantenha constante a consistência, as propriedades da argamassa variam como no quadro sinótico da Tabela 1 [20].

Estas alterações nas propriedades das argamassas mistas podem ser melhor apreciadas nos trabalhos de: Gillard & Lee [21]; Walker [22]; Lamana et al. [23]; Isberner [6]; Hedstron et al. [14]; Davison [3]; Andereg [24]; Minnick [25] e Johnson [26]. Nas figuras 3 e 4 têm-se diversos gráficos que representam alguns dos mais significativos resultados obtidos destes trabalhos.

Os valores plotados nos gráficos das Figuras 3 e 4 podem servir como uma primeira referência para a parametrização das principais propriedades das argamassas mistas de cal e cimento. Ao se plotarem resultados de pesquisadores diversos em um mesmo gráfico, como em 3a, nota-se como as condições de ensaio e as características dos materiais condicionam os resultados, que por isto devem ser considerados como não absolutos e apenas servir de referência.

Aumentando-se o teor de água de uma argamassa observa-se uma piora em todas as suas propriedades com exceção da trabalhabilidade, assim mesmo até um certo li-

mite, que se ultrapassado leva também à perda de trabalhabilidade. No entanto, não é habitual fixar-se um valor máximo do teor de água (como é normal na tecnologia do concreto de cimento Portland) pois a quantidade de água para uma dada argamassa é dosada pelo operário que irá manuseá-la, a fim de que, segundo os seus critérios pessoais, ela seja trabalhável. Nem mesmo a proibição de acréscimo de água e posterior reamassamento de uma argamassa após algumas horas do primeiro amassamento é recomendável, segundo Plummer [2], pois a perda de resistência à compressão causada por este procedimento é compensada com o ganho na trabalhabilidade e na adequada retenção de água e consequentemente na capacidade de aderência.

4.2. Com a modificação das características dos constituintes

4.2.1. Areia

A areia empregada na confecção de argamassas pode ter uma variabilidade muito grande em suas características em função de sua origem petrológica e geológica. A influência desta variabilidade nas propriedades das argamassas é muito extensa e quase sempre muito intensa.

As propriedades das argamassas que interferem fortemente no desempenho da alvenaria estrutural: trabalhabilidade; capacidade de aderência e resiliência, são fundamentalmente dependentes daquelas características. Isto faz com que a escolha de uma areia adequada para a confecção de argamassas seja uma opção preponderantemente técnica.

As características das areias que interessam podem ser resumidos em: composição mineralógica e granulometria. Quanto à composição mineralógica as areias empregadas na Construção Civil, na região sul, são essencialmente siliciosas, produtos da decomposição de rochas feldspáticas, principalmente granitos ou gnaisses. Em função de sua mineração ser feita em terrenos de origem aluvionar ou em solos residuais as areias podem ser compostas exclusivamente de sílica (areia quartzosa) ou da mistura desta com siltes e argilo minerais. A existência destes últimos é que irá interferir de maneira sensível nas propriedades das argamassas em função dos tipos de minerais presentes e das dimensões de suas partículas.

Assim a mensuração das interferências causadas nas propriedades das argamassas por um dado tipo de areia não admite generalizações. Deve ser feita para cada areia especificamente.

Quanto à granulometria, influem: as dimensões, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos. Na Tabela 15a [20] tem-se uma sinopse qualitativa da influência destes parâmetros nas principais propriedades das argamassas. O termo variável é aplicável ou quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

A regra geral é ocorrer uma interdependência, difícil de ser avaliada, entre os parâmetros granulométricos. De maneira que, mesmo conhecendo algumas características isoladas de uma dada areia, frequentemente não se pode inferir com certeza sobre a influência que causará nas propriedades da argamassa que dela se utilizar. E mais ainda, se a areia contiver argilo minerais.

Por tudo isto, parece ter mais validade medir-se as propriedades que as argamassas apresentam ao serem compostas por uma dada areia, do que procurar inferir estas propriedades a partir das características intrínsecas da areia de per si.

No entanto, pode-se afirmar que em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua (corrida) e classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados.

A conveniência da presença ou não de minerais argilosos areia é uma polêmica que até hoje não apresenta conclusões definitivas. As normas inglesas BS-1200 [15],

alemã (DIN 4226) e americana ASTM C-144 [16], especificações de areias para argamassas de assentamento limitam seu teor. Na condição mais favorável (BS-1200), o máximo teor possível é de 5% em massa de argila e/ou silte.

No entanto Isberner [6] em ensaios realizados com argamassas de cimento e areia com teores variados de caulinita, xisto argiloso e montmorilonita comprovou que apenas a resistência à compressão de argamassas ricas é sensivelmente prejudicada pela adição de argilo-minerais (teores ensaiados até 15% em massa). Rensburg et al. [27] chegou à conclusão de que teores excessivos (superiores a 20%) de argilas na areia reduzem em muito a capacidade de aderência das argamassas.

A experiência prática brasileira (por exemplo, no estado do Rio de Janeiro, a utilização de areias argilosas com até 30% de argilas é a prática comum), comprova que as argamassas feitas com areias argilosas apresentam melhor trabalhabilidade e melhor resiliência sendo que a capacidade de aderência e a resistência podem (ou não) ser prejudicadas em função do teor e da natureza de materiais finos.

Assim, a utilização de areias argilosas é um problema de compatibilização destas tendências opostas. A otimização significa máxima trabalhabilidade e resiliência, com valores adequados (e não máximos) de capacidade de aderência e resistência. Isto implica na necessidade de se ensaiar a areia argilosa para se comprovar a sua adequabilidade segundo critérios de desempenho, não sendo correto, no entender do autor, a simples limitação de um teor máximo de material argiloso.

Na Tabela 2 tem-se as faixas granulométricas recomendadas nas normas citadas [15,16] para as areias empregadas na fabricação de argamassas de assentamento.

A norma ASTM C-144 tem limitações complementares: a areia não pode ter mais de 50% de grãos retidos entre 2 peneiras consecutivas e nem mais de 25% entre as peneiras # 0,30 e 0,15 e se o módulo de finura (MF) variar de mais de 0,2 do valor especificado a areia deve ser considerada inadequada e ser rejeitada. Segundo Shalin [7] o módulo de finura deve ser especificado entre 1,6 e 2,5.

A norma DIN-4226 impõe as seguintes faixas granulométricas: de 0 a 0,2 mm - percentagem retida 10 a 25% em peso; de 0,2 a 1,0 mm - 30 a 40% e de 1 a 3 mm - 40 a 60%. Klein [19] cita como o módulo de finura ideal 2,4. Para evitar-se concentração de tensões na junta, Sahlin [7] recomenda que o diâmetro máximo da areia esteja entre um terço e a metade da espessura da junta. Para adequada trabalhabilidade e retenção de água Amrhein [28] afirma que a areia deve ter no máximo 5% em peso passando na peneira # 0,075 mm.

4.2.2. Cal

Como pode ser observado na Tabela 1 a adição de cal em uma argamassa, em substituição ao cimento, fundamentalmente melhora as propriedades ligadas à trabalhabilidade e à capacidade de absorver deformações piorando todas as demais.

Parece então evidente que se deva utilizar a cal (hidróxido de cálcio) na sua forma mais favorável para otimização daquelas propriedades.

As seguintes formas favorecem a retenção de água e plasticidade da argamassa recém-misturada e a resiliência da argamassa endurecida:

- i) Quanto à forma de emprego a cal em pasta (resultante da extinção da cal em água) é superior ao leite de cal (suspensão de cal hidratada em água) e ambas são superiores à cal hidratada em pó;
- ii) Quanto ao processo de hidratação dos óxidos de cálcio e magnésio, a cal extinta (hidratação com excesso de água, operação geralmente efetuada em obra) é superior à cal hidratada em pó (hidratação em reatores, em unidades fabris).

iii) Quanto à composição, a cal dolomítica ou magnésiana é superior à cal cálcica (desde que haja uma completa hidratação dos óxidos de magnésio, normalmente menos reativos).

Observa-se que a cal hidratada em pó, que é correntemente empregada na preparação de argamassas de assentamento para a alvenaria estrutural apresenta características inferiores comparada com a cal extinta.

Nesta comparação supõe-se que ambas as cales sejam puras e da melhor qualidade. No entanto, a cal hidratada comercializada entre nós não possui, no geral, boa qualidade (ver ensaios realizados pelo IPT-ABCP, referência [29]) não atendendo às especificações da ABNT EB 152 [30] quanto ao teor de óxidos totais, máximo teor de óxido de magnésio livre, finura e plasticidade. A cal extinta em obra, em contrapartida, pode ter sua qualidade melhor controlada avaliando-se o rendimento obtido no processo de extinção.

Em função das características inferiores de cal hidratada, as normas CP-121 "Walling" [1] e DIN 1053 "Mauerwerk" [31] recomendam utilizar um volume maior de cal nas argamassas de cal hidratada do que nas argamassas que empregam a cal extinta, para que ambas possuam a mesma trabalhabilidade. O código CP-121 recomenda um uso de no mínimo 50% em volume, a mais de cal hidratada ou quanto for necessário (acima deste percentual) para que a trabalhabilidade seja a mesma. A norma DIN-1053 especifica um teor de cal hidratada 33% maior que de cal em pasta.

Na avaliação da qualidade da cal é fundamental, segundo Gillard & Lee [21] o teor de óxidos de cálcio e magnésio disponíveis ("Available Lime Content"). Segundo estes autores as propriedades reológicas das argamassa estão diretamente relacionadas com este teor.

4.2.3. Cimento

A utilização dos diferentes tipos e marcas de cimentos Portland fabricados no Brasil, não provoca grandes modificações nas propriedades mais interessantes das argamassas de assentamento (mistas).

Isto por causa do pequeno teor de cimento empregado na dosagem e em função das características razoavelmente constantes dos cimentos Portland normalizados.

Evidentemente o emprego de cimentos de diferentes classes de resistência (por exemplo: CP 250; CP 320 ou CP 400) irá produzir argamassas com resistências mecânicas variáveis, no entanto a trabalhabilidade e a resiliência das argamassas é pouco influenciada. Os cimentos que apresentam maior finura (maior superfície específica) têm potencial para tornar a argamassa mais trabalhável e com maior retenção de água. Os cimentos de endurecimento mais lento podem produzir argamassas mais resilientes. Assim, o cimento Portland pozolânico, que possui estas duas características (maior finura e endurecimento mais lento), pode vir a compor uma argamassa com propriedades otimizadas. Patton [32] destacou esta possibilidade de emprego dos cimentos pozolânicos.

Os chamados cimentos de alvenaria ("masonry cement") pelas mesmas razões são potencialmente mais adequados para a confecção de argamassas de assentamento para a alvenaria estrutural não armada. Mas, pelos motivos citados em 3.5., seu uso só deve ser feito após estudos específicos.

Está supondo-se ainda que os cimentos sejam empregados dentro do seu prazo de validade e que tenham sido estocados corretamente, pois se o cimento já estiver parcialmente hidratado quando do seu uso, todas as propriedades de argamassa ficam prejudicadas.

4.3. Com a variação na produção e no manuseio

As argamassas podem ser produzidas por mistura mecânica ou manual dos materiais

constituintes. A alvenaria estrutural, por ser um processo construtivo racionalizado e exigir uma argamassa de características constantes, não admite o emprego da mistura manual.

A mistura mecânica de todos os componentes: areia, cal em pó, cimento e água, feita imediatamente antes do emprego da argamassa (é que é a prática comum) dá origem a um produto que utiliza apenas parte do potencial que a cal possui em melhorar as qualidades reológicas e resilientes da argamassa.

Isto porque o hidróxido de cálcio obtido no processo de hidratação em reatores (em pó) possui uma superfície específica relativamente pequena se comparada com a obtida no processo de extinção. Mas esta superfície específica pode ser muito aumentada se a cal permanecer um certo tempo em contato com a água, principalmente se a cal hidratada contiver grande percentagem de óxido de magnésio não hidratado (o que é comum nas cals brasileiras).

A prática do pedreiro tradicional de deixar a argamassa de cal "curtir" ou "descansar" tem justamente o objetivo de tornar a argamassa mais trabalhável e de evitar que a argamassa fissure macroscopicamente quando aplicada (o que significa que após "descansar" ela possui maior capacidade de absorver deformações).

Então, para otimizar as propriedades interessantes de argamassa mista, recomenda-se produzir primeiramente a argamassa de cal, que deve ser estocada para "curtir" por um dado tempo. Antes do seu emprego, após o "descanso", adiciona-se o cimento na proporção adequada.

Como foi recomendado em 4.2.2 deve-se dar preferência a mistura de areia com pasta de cal. Em caso de impossibilidade de se extinguir a cal em obra, deve-se empregar o leite de cal, obtido com a dissolução da cal hidratada em água e posterior repouso da solução. A utilização da cal hidratada diretamente, implica em um consumo maior desta (em relação ao leite de cal ou à pasta de cal):

Os ingleses, no código CP-121 "Walling" [2] recomendam que: em todos os casos a argamassa de cal repouse no mínimo por 16 horas; quando se preparar o leite de cal, este deverá repousar também por 16 horas no mínimo; a pasta de cal deve descansar por 2 semanas antes do uso; quando se misturar a cal em pó com a areia, misturar primeiro a areia e a cal a seco e depois acrescentar a água.

Outra vantagem em se misturar previamente a cal com a areia e depois a argamassa de cal com o cimento é a de evitar o desperdício de cimento. Como as dosagens são geralmente por volume e com emprego de areia seca, a mistura de areia úmida, com um certo enchimento, introduz em erro que conduz a um consumo maior de cimento. Como a argamassa de cal tem volume constante e praticamente igual ou da areia seca, esse erro não ocorre. Por exemplo, para um traço 1:1:6, prepara-se uma argamassa de cal de 1:6 que posteriormente será misturada com o cimento (6 partes da argamassa de cal para uma de cimento) compondo o traço especificado.

A argamassa após a adição de cimento possui um prazo de validade não superior a 3 horas (Amrhein [28] limita a 2,5 horas). Neste período a argamassa ao perder água por evaporação, perde fluidez e plasticidade. O reamassamento, com acréscimo de água ocasiona uma perda de resistência à compressão. Mas segundo Plummer [2] esta diminuição da resistência é compensada por um ganho na capacidade de aderência, que fica muito prejudicada com a perda de fluidez e plasticidade. Além disso, tornando novamente a argamassa trabalhável, pela adição de água, diminui-se a possibilidade de falhas resultantes do não preenchimento adequado das juntas.

4.4. Com as adições de cura

Após o assentamento da alvenaria a cura da argamassa é feita sob as condições ambientais existentes. Se ocorrerem condições adversas, a cura deficiente ocasionará variação nas propriedades da argamassa endurecida, todas no sentido negativo: cairão as resistências mecânicas; a aderência final entre bloco e arga-

massa será reduzida; aumentará a retração na secagem; diminuirá a capacidade da argamassa de absorver deformações. E a durabilidade da alvenaria, por conseguinte, ficará comprometida.

5. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

5.1. Classificação

A tecnologia da alvenaria estrutural incorpora uma aparente ilogicidade: emprega um material, a argamassa de assentamento, que tem uma importância capital na qualidade final da estrutura de alvenaria, mas sobre tal material não possui meios de exercer um controle prévio das características do material que realmente definem aquela qualidade. Não existe parametrização limite para, por exemplo: trabalhabilidade; capacidade de aderência; capacidade de absorver deformações ou retração na secagem.

É uma ilogicidade aparente porque na verdade seria o componente junta de argamassa, que possui funções muito bem definidas (ver 1); que deveria ter sua qualidade controlada. Porém, a junta de argamassa não pode ser obtida isoladamente e portanto, o que objetivamente se tem de controlar são as características do conjunto bloco-junta de argamassa (desempenho).

Esta situação justifica a tendência mundial de especificar argamassas por composições e não por propriedades que elas possam vir a apresentar.

No entanto, a adoção de composições-tipo standardizadas subordina-se obrigatoriamente à existência dos seguintes requisitos:

- i) Normalização e controle de qualidade efetivos dos componentes das argamassas;
- ii) Pesquisas laboratoriais constantes das características das composições-tipo e de avaliação da adequabilidade de emprego destas composições através de ensaios do conjunto bloco-junta de argamassa, e
- iii) Controle de qualidade (estatístico) da produção, por intermédio da mensuração de uma ou mais propriedades de fácil reprodutividade e de pequena dispersão estatística.

O objetivo principal deste controle de qualidade é a verificação da constância de características da argamassa produzida e não o estabelecimento de parâmetros limitativos para alguma propriedade, de per si concludentes.

Isto justifica a adoção da resistência à compressão como único requisito especificado em normas estrangeiras (com exceção da ASTM C-270 [33], que especifica ainda um valor mínimo de retenção de água) para as argamassas de assentamento empregadas na alvenaria estrutural.

Ou seja, apesar de a resistência à compressão não ser uma propriedade conclusiva quanto à adequabilidade da argamassa, a parametrização da resistência apresentada por corpos de prova em ensaios normalizados conduz à uniformidade de produção. A adequabilidade da argamassa, como foi dito, deve ser avaliada em ensaios do conjunto bloco-argamassa.

A metodologia de avaliação de argamassas de assentamento pode ser fracionada em: ensaios de caracterização de composições-tipo; ensaios de adequabilidade e ensaios de controle de qualidade da produção.

O ensaios de adequabilidade por serem ensaios de desempenho da parede de alvenaria ou de corpos de provas de alvenaria, executados após o endurecimento da argamassa, não serão abordados neste trabalho.

5.2. Ensaaios de caracterização de composições-tipo

Os ensaios de caracterização de composições-tipo são ensaios laboratoriais de avaliação daquelas propriedades das argamassas que irão ter influência nos resultados dos ensaios de adequabilidade.

Estes ensaios de caracterização são essenciais para o projeto e escolha de composições, por fornecerem dados que apropriadamente manejados, permitem compor traços convenientes.

As propriedades que com maior ou menor importância devem ser caracterizados são:

- i) Consistência (Plasticidade); retenção de água; retenção de consistência - "consistence retentivity";
- ii) Resistência à compressão; resistência à tração na flexão;
- iii) Módulo de deformação; coeficiente de Poisson;
- iv) Tempo de endurecimento; retração na secagem;
- v) Massa específica; conteúdo de ar (recém miturada).

No Brasil inexistem métodos de ensaio normalizados para avaliação destas propriedades das argamassas.

Em outros países, principalmente na Inglaterra, nos Estados Unidos e na Alemanha Ocidental existe normalização de métodos apropriados. Métodos para a determinação de uma mesma propriedade mas de origens diferentes divergem consideravelmente. A análise de resultados obtidos em diversos países deve levar em conta certas divergências de método.

A Comissão RILEM/CIB para o estudo de argamassas editou um relatório [9] em que são analisados e comparados os métodos de ensaio empregados em 15 países.

As normas "BS-4551 - Methods of Testing Mortars, Screeds and Plaster" [34] e "DIN-18555 Mörtel aus mineralischen Bindemitteln; Prüfung [35] (Argamassas de Aglomerantes Minerais; Ensaaios) são as mais completas e fundamentam-se em uma tecnologia experimental bastante desenvolvida.

Gillard & Lee [21] executaram um trabalho experimental de quantificação das propriedades de diversas composições-tipo empregando os métodos ingleses da norma BS-4551 [34] e concluíram que tais métodos possibilitam uma boa reprodutividade para argamassas mistas.

5.3. Ensaaios de controle de qualidade da produção

É inerente ao processo de fabricação de argamassas em canteiro de obras a probabilidade de obterem-se produtos com características bastante variáveis. A causa principal é a não uniformidade dos materiais básicos e, a probabilidade aumenta muito quando não existe controle de qualidade destes materiais (como no Brasil).

O emprego de argamassas inadequadas implica em uma alvenaria estrutural deficiente. E quase sempre as deficiências relacionam-se com a perda de monolicidade da parede por falhas na interface bloco-argamassa ocasionadas pelas baixas capacidades de aderência e de absorver deformações da argamassa empregada.

O controle de qualidade de produção ideal seria aquele que avaliasse "in situ" e antes do seu emprego, as capacidades de aderência e de absorver deformações da argamassa. Até hoje, no entanto, não se conseguiu desenvolver um método que possibilitasse estas avaliações.

Assim o controle de qualidade executado até o presente é apenas um controle de uniformidade de produção determinado pela resistência à compressão apresentado por um corpo de prova, a uma certa idade.

A resistência à compressão da argamassa é uma propriedade secundária na tecnologia da alvenaria estrutural (ver 2.5) além do que a resistência apresentada pelo corpo de prova cúbico ou cilíndrico não tem uma relação direta com a resistência da junta de argamassa, que possui um formato laminar e está sujeita a um estado triplo de tensões. No entanto, é uma propriedade que possibilita a execução de ensaios de boa reprodutividade e de baixo coeficiente de variação, sendo, portanto, adequado para um controle de uniformidade de produção.

Além disso, com os resultados deste ensaio pode-se avaliar, através de correlações com ensaios laboratoriais mais complexos, e durabilidade esperada, a resistência à tração na flexão, o módulo de deformação e o coeficiente de Poisson da argamassa.

O ensaio de resistência à compressão feito no Brasil apresenta para argamassas mistas uma dispersão de resultados excessiva e inadequada e por isso e pelo exposto, no entender do autor, possui validade limitada para o controle de qualidade de produção. Esta dispersão ocorre porque este ensaio foi desenvolvido para se avaliar a resistência do cimento Portland mantendo-se constante as características da areia e o teor de água o que evidentemente não reproduz a realidade no campo das argamassas. O autor propõe a adição da tecnologia Inglesa que utiliza o corpo de prova cúbico e características específicas para argamassas reais.

Um outro ensaio de controle de qualidade de produção adotado nos Estados Unidos é o de retenção de água. Esta propriedade das argamassas tem uma relação com a capacidade de aderência e com a capacidade de absorver deformações. Apesar de esta não ser uma relação direta, pode-se parametrizar a retenção de água de maneira a estreitar a faixa de variação daquelas propriedades essenciais, aumentando assim a possibilidade de se obter argamassas adequadas.

A deficiência do método tradicionalmente empregado nos Estados Unidos (norma ASTM C-91 [36]) é de não ser muito operacional para uso no campo. Além de não fornecer o percentual de água retida diretamente, mas através de uma correlação com a perda de consistência (na "flow table"). O método inglês da BS-4551 [34] pela sua simplicidade pode ser empregado no canteiro de obras com o mesmo resultado que em laboratório. Ele fornece diretamente a quantidade de água retida pela argamassa ao entrar em contato com um material poroso em condições padronizadas (discos de papel-filtro).

Outros ensaios de controle de qualidade de produção que podem ser realizados conjuntamente com o de retenção de água são os de consistência (fluidez, viscosidade ou resistência à penetração) e retenção da consistência (após perda de água). No relatório da Comissão RILEM/CIB [9] são apresentados trabalhos de diversos pesquisadores que compararam os vários métodos empregados na avaliação da consistência (penetração de bola, penetração de sonda; mesa de fluidez; viscosidade de Mo-metro). Do exame destes trabalhos não foi possível detectar-se uma forte evidência de qual ensaio seria o mais adequado e confiável. Porém pela comparação entre as simplicidades de cada método e dos equipamentos que empregam, condições essenciais para ensaios de campo, os ensaios de penetração se destacam. E dentre estes a penetração de bola ("dropping ball test") da BS-4551 [34] possui a vantagem extra de ser feito concomitantemente com os de retenção de água e retenção da consistência, sem equipamento adicional e em reduzido tempo.

Nos Estados Unidos tem-se também procurado desenvolver ensaios de campo. Em 1980 foi editada a norma ASTM C-780 [37] que estabelece uma metodologia de avaliação das argamassas de assentamento no canteiro de obras. Entre outros a norma estandardiza os seguintes métodos: consistência (penetração de cone); retenção da

consistência; conteúdo de água e teor relativo aglomerante/agregado. No entender do autor, tais métodos são menos práticos que os da norma inglesa citada.

6. FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS

A tecnologia da fabricação de argamassas é muito simples: definidos os componentes a serem utilizados e a composição (proporção relativa de cada componente) na fase de projeto, a fabricação resume-se em misturar mecanicamente os componentes em uma certa sequência e por um dado tempo.

A fabricação da junta de argamassa é mais complexa. Compõe-se das tecnologias de: emprego; moldagem e cura. Esta fabricação confunde-se com a fabricação da parede de alvenaria.

Considerando apenas as argamassas mistas, a escolha da sequência de mistura é função do estado como o componente cal é empregado. Na Tabela 3 são discriminadas quatro maneiras de se executar a mistura de uma mesma argamassa (traço em volume), em função do estado em que a cal é empregada, conforme o código CP-121 - Walling, da British Standards Institution [1]. Com isto obtêm-se argamassas com características diversas.

Na sequência A → D temos, mantendo-se constante a quantidade de cal (ver 4.3): menor trabalhabilidade e menor capacidade de retenção de água e de absorver deformações. Pode-se manter uma certa constância nestas propriedades, mas com o emprego de maior quantidade de cal (crescente com a sequência A → D).

Como os traços são especificados em volume e a cal e o cimento são adquiridos em massa, as seguintes densidades devem ser utilizadas no cálculo: cimento - 1440 kg/m³; cal em pó - 575 kg/m³ e cal em pasta - 1360 kg/m³. A norma ASTM C-270 [33] fornece valores um pouco diferentes: cimento - 1505 kg/m³; cal em pó - 640 kg/m³ e cal em pasta - 1280 kg/m³.

Quanto ao tempo de mistura em betoneira, não há um valor limite bem quantificado. Os alemães [31] recomendam que a mistura seja feita até obter-se homogeneidade. Os ingleses [1], até obter-se consistência adequada. Os americanos [33] fazem a mesma recomendação, com a ressalva de que a mistura se processe por 3 minutos no mínimo. Rosello [10] afirma que "quanto mais prolongada é a duração da mistura, melhora-se a plasticidade e a retenção de água (da argamassa) porque se introduz ar na massa". Davison [3] limita o tempo de mistura a um máximo de 10 minutos.

7. COMPOSIÇÕES RECOMENDADAS - ESPECIFICAÇÕES INTERNACIONAIS

7.1. Normalização

No Brasil inexistem pesquisas que possam ser adotadas como base para a recomendação de composições-tipo de argamassas de assentamento para a alvenaria estrutural não armada. Explicam tal assertiva, além da falta de tradição em pesquisas tecnológicas neste campo a inexistência de:

- i) Especificações para a areia e especificações adequadas para a cal (e ainda para cimento de alvenaria, aditivos, etc).
- ii) Controle de qualidade para os componentes citados em i);
- iii) Métodos de ensaios normalizados para caracterização de propriedades das composições-tipo, a menos da resistência à compressão (e ainda assim inadequado, ver 5.3).
- iv) Métodos de ensaios normalizados para avaliação do desempenho de argamassas considerando-se o conjunto bloco-argamassa.

Serão citadas, como ilustração, as composições tipo recomendações na Inglaterra,

Alemanha Ocidental e Estados Unidos. Deve-se ressaltar três aspectos essenciais: a comparação entre as especificações evidencia a dependência das composições das características dos materiais standardizados e dos métodos de ensaio normalizados; os empregos sugeridos para as composições apresentam variações apreciáveis de país para país; não há como adotar-se com segurança quaisquer uma das composições recomendadas, pois são particulares aos materiais e à tradição construtiva locais.

No gráfico da Figura 5 compara-se, por exemplo, as resistências à compressão médias (mínimas) que argamassas de mesma composição devem apresentar segundo as especificações daqueles países.

7.2. Especificações inglesas

Na Tabela 4 tem-se as argamassas recomendadas na Inglaterra para o assentamento de alvenaria segundo o código CP-121 - Walling [1]. A resistência à compressão em ensaios de campo que as argamassas devem apresentar são extraídas da BS-5628 - "Code of Practice for Structural Use of Masonry - Part 1 - Unreinforced Masonry" [38].

Para a alvenaria estrutural a escolha da argamassa é condicionada pelo cálculo estrutural [38]. Estabelece-se ainda uma mínima qualidade que a argamassa deve ter para que a parede apresente uma durabilidade adequada [1].

Por exemplo: para paredes internas sem revestimento, deve-se usar no mínimo argamassa do grupo iv); para paredes externas iii ou iv); para fundações iii) e para muros de arrimo permanentemente úmidos - ii).

7.3. Especificações alemãs

Na Tabela 5 tem-se as composições recomendadas na Alemanha Ocidental, conforme DIN-1053 "Mauerwerk, Berechnung und Ausführung" [31] (Alvenaria, Cálculo e Execução).

As recomendações quanto ao emprego são:

- i) Grupo I - Admitido seu uso para edifícios de até 2 pavimentos e quando a espessura das paredes for maior ou igual a 24 cm.
- ii) Grupo II e IIa - É proibido o uso simultâneo destes dois grupos no mesmo canteiro de obras. Não é permitido o uso em alvenaria armada.
- iii) Grupo III - Sem restrições.

A escolha da argamassa na alvenaria estrutural é feita conjuntamente com a escolha do tipo de bloco e em função das tensões admissíveis projetadas.

7.4. Especificações americanas

A especificação ASTM C-270 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry" [33], recomenda as composições da Tabela 6. Além da resistência à compressão mínima existe a exigência de uma fluidez ("flow") mínima de 70% após a sucção no ensaio de retenção de água (método da ASTM C-91 [36]).

A escolha da argamassa a ser empregada na alvenaria estrutural deve ser feita segundo as exigências dos códigos de construção adotados (nos Estados Unidos eles são locais) quanto às tensões admissíveis em projeto. A norma ASTM C-270 [33] apresenta um guia para seleção de argamassas em função do tipo de construção. Por exemplo: para paredes estruturais a argamassa recomendada é a de tipo N (alternativamente pode ser empregada a S ou M) para paredes não estruturais tipo O (K, N ou S); para fundações e muros de arrimo tipo S (M ou N). Esta norma não recomenda o emprego de aditivos na argamassa.

8. A ESCOLHA DA ARGAMASSA

No Brasil, a escolha da argamassa de assentamento adequada para a alvenaria estrutural é um problema crítico e até o momento não equacionado.

Apesar de o desempenho da parede de alvenaria estar essencialmente subordinado às características da argamassa, e de a alvenaria estrutural estar já implantada, há mais de uma década não foram ainda executadas pesquisas, no entender do autor, pertinentes.

A adoção de composições padronizadas, no estágio atual de conhecimento tecnológico das argamassas mistas (no Brasil) é não recomendável. Pois, além de inexistirem pesquisas que correlacionem tais composições com as características desejáveis da parede de alvenaria também inexistente ou é inconsistente a padronização e o controle de qualidade das cales e das areias empregadas. É justamente quando se sabe que, as características destes materiais são as que mais decisivamente influem na qualidade da argamassa.

No entanto, há a necessidade premente de se especificar argamassas de assentamento para a Alvenaria Estrutural que possuam adequado desempenho funcional e concomitantemente inibam a ocorrência de problemas patológicos.

Diante disto, há que se escolher uma argamassa que:

- i) Admita o máximo teor de cal ("available lime") na composição;
- ii) Empregue pasta de cal;
- iii) Utilize uma areia granulometricamente contínua e classificada como média;
- iv) "Descanse" pelo menos 24 horas antes do seu emprego.

Na fundamental busca de uma argamassa ideal, deve-se ter como escopo dois conceitos:

"A argamassa adequada é aquela que melhor compatibilize as capacidades de aderência com a de absorver deformações".

"A avaliação correta destas capacidades da argamassa só é possível se se ensaia rem corpos de prova bloco-argamassa".

Os ingleses têm uma regra [19] "não use uma argamassa mais forte que aquela exatamente necessária para propiciar a resistência requerida para a alvenaria".

Anderegg em 1942 [24] citava uma máxima inglesa que segundo ele deveria ser adotada nos Estados Unidos - "Escolha argamassas mais fracas que os tijolos. As argamassas devem ter muitas das funções de uma válvula de segurança e válvulas de segurança não podem ser tolhidas ("not be tied down").".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Code of Practice for Walling: Part 1. Brick and Block Masonry. London, 1973. CP-121: Part 1.
- [2] PLUMMER, H.C. Brick and Tile Engineering. 2.ed. McLean, USA, Brick Institute of America, 1962.
- [3] DAVISON, J.I. Masonry Mortar. Ottawa, National Research Council of Canada, 1974. Canadian Building Digest-163.
- [4] ANDREWS, H. Mortar for Brickwork, Block Construction and Masonry. London, HMSO - Building Research Station, 1950. National Building Studies, Bulletin-8.

- [5] ISBERNER, A.W. Properties of Masonry Cement Mortars. In: Designing Engineering and Constructing with Masonry Products. Houston, Gulf, 1969. p.42-50.
- [6] ISBERNER, A.W. Masonry Mortars - A Progress Report. Stokie, USA, Portland Cement Association, 1964.
- [7] SAHLIN, Sven. Structural Masonry. Englewood Cliffs, USA, Prentice-Hall, 1971.
- [8] BOMBLED, J.P. & KALVENES, O. Comportment Rhéologique des Pâtes, Mortiers et Bétons: Mesure, Évolution, Influence de Certains Paramètres. Revue des Matériaux de Construction et de Travaux Publics: Cements et Bétons. Paris, n.617, fev:1967.
- [9] COMMISSION RILEM/CIB. - MORTIERS ET ENDUITS. Rapport d'Activité. Bulletin Rilem, Paris, n.30, p.35-55, mar, 1966.
- [10] ROSELLO, M.T.V. Morteros de Cemento para Albañileria. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1976. Monografia 337.
- [11] SHALON, R. & SOROKA, I. Consistency of Cement-Lime Mortars. Materials, Research & Standards, Philadelphia, 4(9):465-71, set.1964.
- [12] DAVISON, J.I. Loss of Moisture from Fresh Mortars to Bricks. Materials, Research & Standards, Philadelphia, 1(5):383-88, maio, 1961.
- [13] HILSDORF, Hubert. Les Matériaux de Maçonnerie et leurs Propriétés Physiques. In: Structures en Maçonnerie. Paris, Comité Mixte International sur la Conception et L'Etude des Immeubles de Grande Hauteur, 1973. v.27, p.21-39.
- [14] HEDSTROM, R.O. et alii. Influence of Mortar and Block Properties on Shrinkage Cracking of Masonry Walls. Journal of the PCA Research and Development Laboratories. Chicago, 10(1):34-51, jan.1968.
- [15] BUILDING RESEARCH STATION. Mortars for Jointing. London, HMSO, 1965. Digest-58 (2nd.Series).
- [16] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. British Standards Specification for Sands for Mortar for Plain and Reinforced Brickwork, Blockwalling and Masonry. London, 1976. BS-1200.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1982. ASTM C-144. v.16, p.123-4.
- [18] RAGSDALE, L.A. & RAYNHAM, E.A. Building Materials Technology. 2.ed. London, Edward Arnold, 1972.
- [19] KLEIN, A. Multi-Storeu Flat Buildings in Calcium Silicate Bricks and Blocks, and the Testing of Wall Panels and of Bricks, Blocks and Mortar for Calculated Masonry. In: Autoclaved Calcium Silicate Building Products. London, Society of Chemical Industry, 1967. p.239-51.
- [20] SABBATINI, F.H: Argamassas. Notas de Aula da Disciplina Materiais de Construção Civil. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, 1981.
- [21] GILLARD, R. & LEE, H.N. Testing of Building Mortars using the New British Standard Methods. In: The Reaction Parameters of Lime. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1970. STP 472. p-82-116.

- [22] WALKER JR., D.D. Accelerated Curing of Lime-Cement Mortars. In: Masonry: Past and Present. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1975. STP 589. p.96-106.
- [23] LAMANA, A.; DELFIN, F. & BULLEMORE, M. Adherencia Entre Mortero y Bloques de Hormigon: Influencia de Diferentes Variables. Revista del IDIEM, 9(2):79-102. set.1970.
- [24] ANDEREG, F.D. The Effect of Brick Absorption Characteristics upon Mortar Properties. Proceedings of the American Society for Testing and Materials, v. 42, p.821-36, 1942.
- [25] MINNICK, L.J. Effect of Lime on Characteristics of Mortar in Masonry Construction. American Ceramic Society Bulletin, 38(5):239-45, 1959.
- [26] JOHNSON, H.V. Cement-Lime Mortars. Technologic Papers of the Bureau of Standards. Washington, 20(308):241-73, 1926.
- [27] RENSBURG, J.J.J. et alii. Factors Influencing the Bond Strength Calcium Silicate Bricks and Mortar. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research, 1978. CSIR RESEARCH REPORT 340.
- [28] AMRHEIN, J.E. Reinforced Masonry Engineering Hand-Book. Clay and Concrete Masonry. 3.ed. Los Angeles, Masonry Institute of American, 1978.
- [29] A CONSTRUÇÃO SÃO PAULO. IPT Diz Como Está a Qualidade do Produto. São Paulo, n.1492, p.11-12, 1976.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cal Hidratada para Argamassas. Rio de Janeiro, 1972. EB-153.
- [31] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Mauerwerk, Berechnung und Ausführung. Berlin, 1974. DIN 1053.
- [32] PATTON, W.J. Construction Materials. Englewood Cliffs, USA, Prentice-Hall, 1976.
- [33] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1982. ASTM C-270. v.16, p.167-81.
- [34] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Methods of Testing Mortars, Screeds and Plasters. London, 1980. BS 4551.
- [35] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Prüfung von Mörteln mit Mineralischen Bindemitteln. Berlin, 1982. DIN 18555 (teil: 1;2 e 3).
- [36] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Masonry Cement. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1982. ASTM C-91. v.13. p.71-6.
- [37] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1982. ASTM C-780. v.16.
- [38] BRITISH STANDARD INSTITUTION. Code of Practice for Structural Use of Masonry. Part 1. Unreinforced Masonry. London, 1978. BS-5628:Part 1.

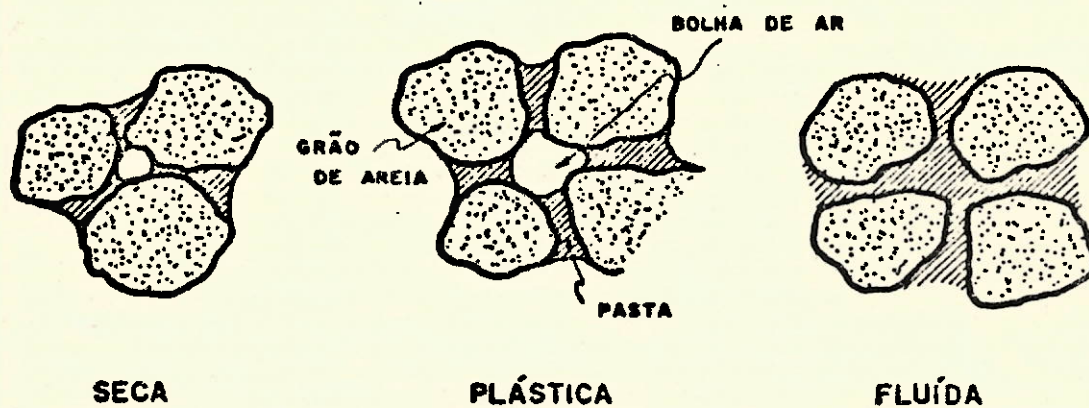


Figura 1 - Consistência de Argamassas

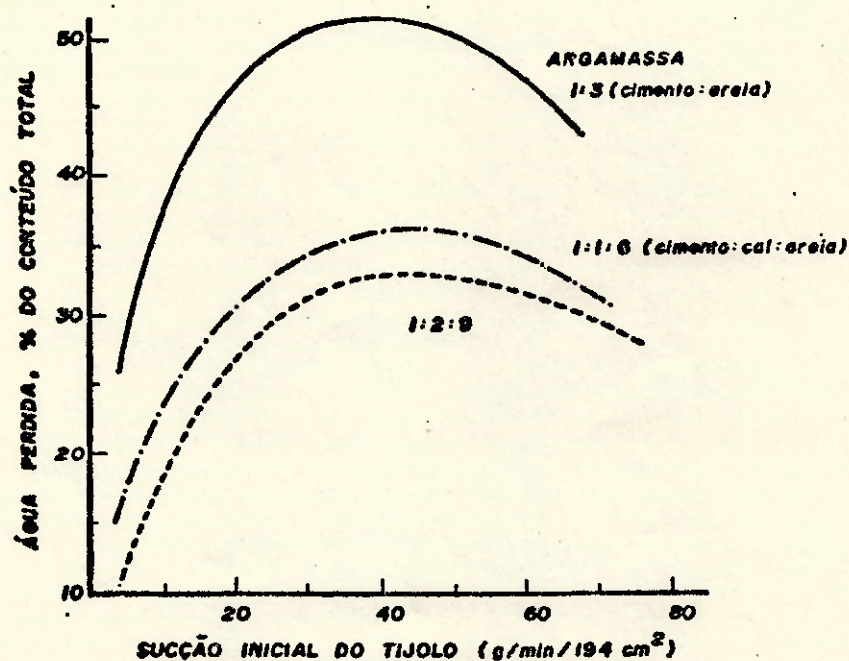


Figura 2 - Perda de Água de Argamassas em função da Sucção dos Blocos (tempo de contato 4 minutos){12}

TABELA 1 - Quadro de variação nas propriedades de uma argamassa com a alteração da composição relativa de cimento e cal

Propriedade		+ Aumento na Proporção de Cal no Aglomerante +	
Resistência à Compressão	(E)	- Decresce	+
Resistência à Tração	(E)	- Decresce	+
Capacidade de Aderência	(E)	- Decresce	+
Durabilidade	(E)	- Decresce	+
Impermeabilidade	(E)	- Decresce	+
Resistência às altas Temperaturas	(E)	- Decresce	+
Resistências Iniciais	(F)	- Decresce	+
Retração na Secagem Inicial	(F)	- Cresce	+
Retenção de Água	(F)	- Cresce	+
Plasticidade	(F)	- Cresce	+
Trabalhabilidade	(F)	- Cresce	+
Resiliência	(E)	- Cresce	+
Módulo de Elasticidade	(E)	- Decresce	+
Retração na Secagem Reversível	(E)	- Decresce	+
Custo		- Decresce	+

Propriedades Melhoradas com
Maior Teor Relativo de Cimento

Propriedades Melhoradas
com Maior Teor Relativo
de Cal

Obs.: Estados: (E) Endurecido; (F) Recém fabricado.

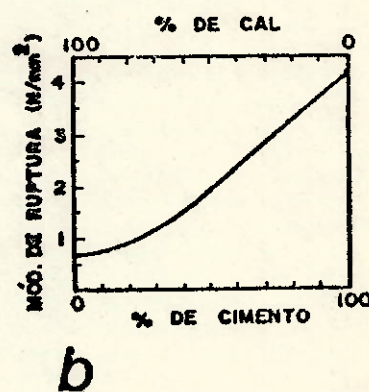
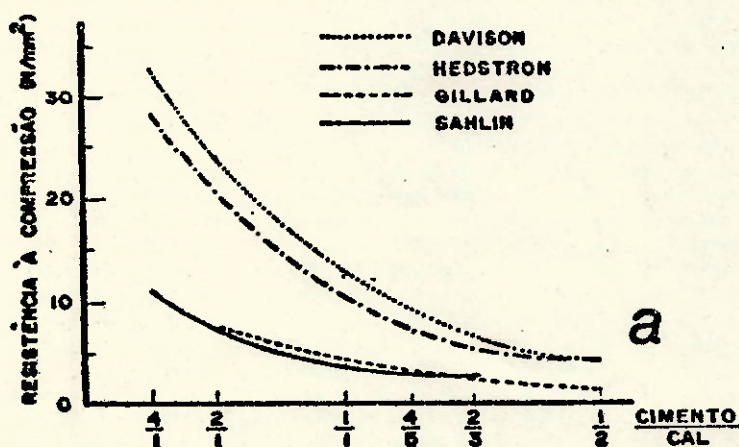


Figura 3 - Resistência à compressão (a) e módulo de ruptura (b) de argamassas mistas em função da proporção relativa de cal e cimento Portland {7}.

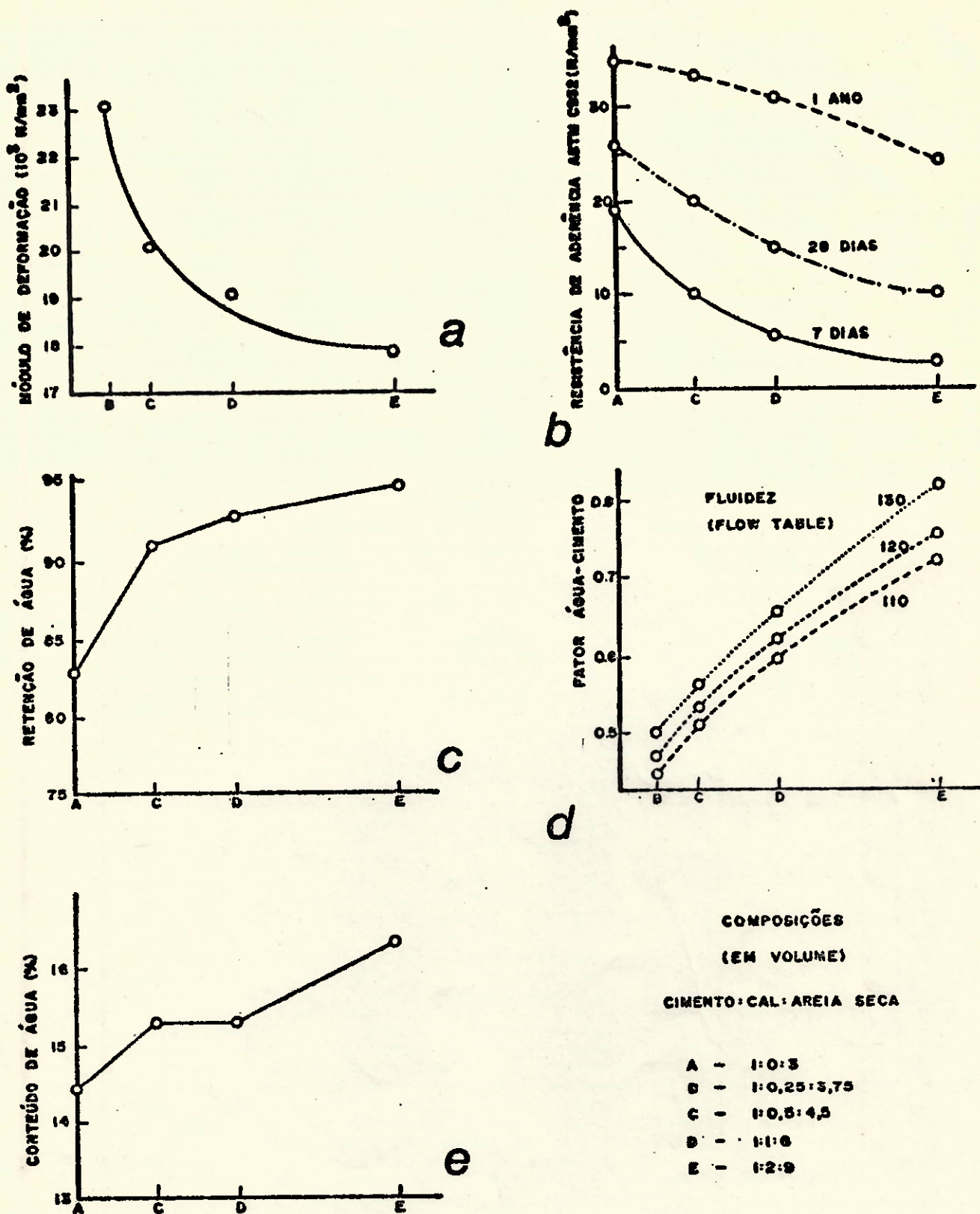


Figura 4 - Variação nas propriedades das argamassas com a Mudança das composições e do teor de água: a) Módulo de elasticidade {14}; b) Capacidade de aderência {24}; c) Retenção de água; d) Fator água/cimento e consistência {6}; e) Conteúdo de água {21}.

TABELA 2 - Areias para argamassas de assentamento. a) Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas.

Propriedades	Características da Areia		
	Quanto Menor 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
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resist. Mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

b) Composições granulométricas recomendadas.

Peneira - Abertura Nominal em mm	Porcentagem (em peso) que passam nas peneiras	
	BS-1200	ASTM C-144
4,75 (5,0-BS-1200)	100	100
2,36	90 a 100	95 a 100
1,18	70 a 100	70 a 100
0,6	40 a 80	40 a 75
0,3	5 a 40	10 a 35
0,15	0 a 10	2 a 15

TABELA 3 - Sequências de Mistura de Argamassas Mistas

Argamassa Tipo	Componentes (Tipo e Dosagem)			Mistura Mecânica	
	Areia	Cal	Cimento	Argamassa Intermediária (de Cal)	Argamassa Mista
A		Em pasta, dosagem em volume		Areia mais pasta; mistura e "descanso" por 16 horas no mínimo	
B	Unidade natural; dosagem em volume.	Em leite de cal, dosagem em volume	Portland comum, dosagem em massa	Areia + leite de cal (água + cal em pó) preparado com 16 hs. de antecedência, no mínimo). Mistura e "descanso" por 16 hs. no mínimo.	Argamassa intermediária (em volume) + cimento e + água - emprego imediato.
C	Aumento de volume por inchamento deve ser considerado (os traços são de areia seca).	Em pó, dosagem em massa		Areia + cal; mistura parcial; + água mistura e "descanso" por 16 hs. no mínimo	
D		Idem		-	Areia + cal + cimento; mistura parcial; + água; mistura; emprego imedia.

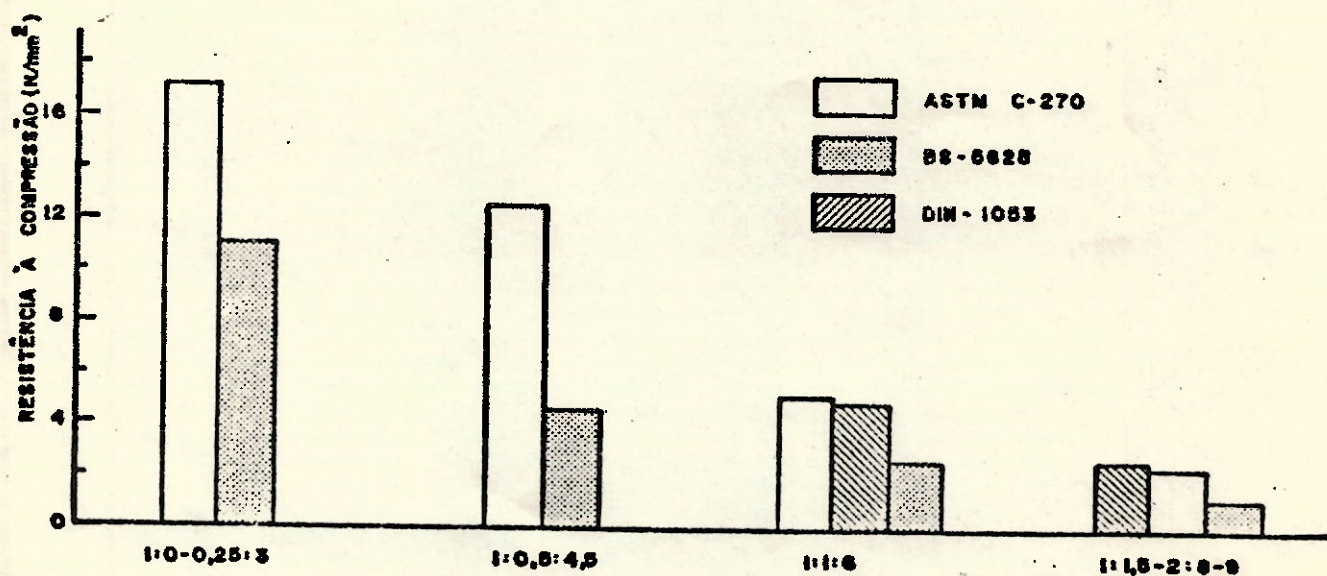


Figura 5 - Resistências à Compressão Médias exigidas para argamassas normalizadas segundo a composição-tipo (argamassas: traço em volume-cimento:cal em pasta:areia).

TABELA 4 - Argamassas Recomendadas na Inglaterra (proporções em volume) segundo CP-121

	Grupo de Argamassa	Cimento: Cal: Areia	Cimento de Alvenaria: Areia	Cimento: Areia (com Plastifi - cante	Resistência à Com - pressão Média aos 28 dias (Ensaio de Campo) N/mm ²
↑ Aumento na Resistência à Com - pressão. Diminui - ção na Capa - cidade de Absorver De - formações ↑	I	1:0 a $\frac{1}{4}$:33	-	-	11,0
	II	$1:\frac{1}{2}:4$ a $4:\frac{1}{2}$	$1:2\frac{1}{2}$ a $3\frac{1}{2}$	1:3 a 4	4,5
	III	1:1:5 a 6	1:4 a 5	1:5 a 6	2,5
	IV	1:2:8 a 9	$1:5\frac{1}{2}$ a $6\frac{1}{2}$	1:7 a 8	1,0
	V	1:3:10 a 12	$1:6\frac{1}{2}$ a 7	1:8	-
Direções de Mudança nas Propriedades	→→→ Aumento na resistência à danos devidos ao congelamento. ←←← Aumento na capacidade de aderência e consequente resistência à penetração de água.				

Obs. 1) Resistências aproximadamente equivalentes em cada grupo

2) Proporções para areia seca. Quando há variação na quantidade de areia (p.ex. 8 a 9) os valores maiores referem-se a areia bem graduada e os menores quando for grossa ou uniformemente fina (para obter-se trabalhabilidade);

3) Proporções para pasta de cal. Quando for empregada cal hidratada em pó na mistura seu volume deve ser aumentado por mais de 50% até o necessário para obter-se trabalhabilidade adequada;

4) Cimento Portland BS-12; cal -BS-890; areia -BS1200; cimento de alvenaria -BS5224; plastificante BS4887; Ensaio de resistência à compressão - BS4551.

TABELA 5 - Argamassas recomendadas na Alemanha Ocidental (proporções em volume), segundo DIN-1053

Grupo de Argamassa	Cimento Portland	Cal		Areia	Resistência à Compressão Mínima aos 28 dias (N/mm ²)	
		Pasta	Pó		Valor Isolado	Média
I		1		4		
			1	3		
II	1	1,5		8	2,0	2,5
	1		2	8		
IIa	1		1	6	4,0	4,9
III	1			4	7,9	9,8

- Obs. 1) O volume de areia refere-se ao estado de umidade natural (em depósito);
 2) O conteúdo de cimento não pode ser diminuído quando se utilizam aditivos plastificantes;
 3) Cimento conforme DIN-1164; cal DIN-1060; areia DIN-4226; ensaio de resistência à compressão DIN-18555.

TABELA 6 - Argamassas recomendadas nos Estados Unidos (proporções em volume), segundo ASTM C-91

Tipo de Argamassa	Cimento Portland	Cal	Areia	Resistência à Compressão Média (Mínima) aos 28 Dias (N/mm ²)
M	1	$\frac{1}{4}$	de $2 \frac{1}{4}$ a 3	17,2
S	1	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$	vezes a soma	12,4
N	1	$\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{4}$	dos volumes de	5,2
O	1	$1 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{1}{2}$	cimento e cal	2,4
K	1	$2 \frac{1}{2}$ a 4		0,5

- Obs. 1) Cal hidratada em pó ou cal em pasta;
 2) Areia úmida e solta;
 3) Cimento Portland conforme ASTM C-150; cal virgem ASTM C-5; cal hidratada ASTM C-207; areia ASTM C-144; ensaio de resistência à compressão ASTM C-91.