

WHITE JOSÉ DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE DOSAGEM DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2014**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Viçosa

T

S237d Santos, White José dos, 1981-
2014 Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de
revestimento e assentamento / White José dos Santos. - Viçosa, MG,
2014.
xxii, 155f. : il.; 29 cm

Inclui anexo.

Orientador: Rita de Cássia Silva Sant Anna Alvarenga.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Argamassa. 2. Argamassa - Dosagem. 3. Revestimentos. 4.
Materiais de construção - Assentamento. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-
graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 666.9

WHITE JOSÉ DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE DOSAGEM DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 04 de novembro de 2014



Antonio Neves de Carvalho Junior



Ricardo Andre Fiorotti Peixoto



Reginaldo Carneiro da Silva
(Coorientador)



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Coorientador)



Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Aos meus orientadores, Professora Rita de Cássia, Professores Leonardo e Reginaldo, pelo incentivo e orientações realizadas neste trabalho.

À minha esposa Muiara e aos meus pais José e Joana, pela confiança e amor dedicados a mim durante minha vida que me motivaram a realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, ajudaram na realização deste trabalho e, em especial:

- A DEUS, por me sustentar nesta caminhada, com garra e perseverança.
- Aos meus orientadores, Professora Rita de Cassia, Professores Reginaldo e Leonardo, pela orientação deste trabalho, e por sempre estarem disponíveis e acessíveis para uma boa conversa, orientando de forma concisa e profissional, não deixando nunca de manter um relacionamento cordial.
- À UFV e UFMG, pela disponibilidade de fornecimento dos laboratórios e instalações para a realização deste trabalho.
- À Banca Examinadora deste trabalho, composta pelos orientadores e os Professores Doutores Antônio Neves Carvalho Júnior e Ricardo André Fiorotti Peixoto, pelas contribuições e sugestões apresentadas e acima de tudo, pela confiança depositada nos trabalhos realizados em comum, no decorrer do curso de doutorado e da vida profissional na UFMG.
- A professora Thais Rotsen Correa do departamento de estatística da UFMG e o professor Felipe Campelo França Pinto do Departamento de Engenharia Elétrica, pelas horas dedicadas auxiliando nos tratamentos estatísticos desenvolvidos neste trabalho.
- À professor Teresa do DEMC, ao técnico Ricardo e aos bolsistas de iniciação científica: Antônio, Bruna, Clara, Caio, Rodrigo, Enzo e Mariana; pelos auxílio e ajuda imprescindível na execução dos ensaios e nas análises realizadas neste trabalho.
- À minha esposa Muiara pelo carinho e amor, pela paciência e confiança demonstrados nos momentos de incerteza e nervosismo.
- Aos meus pais, José Valentim e Joana, por todo carinho e incentivo demonstrados durante todos estes anos de minha vida e, sobretudo, por acreditarem em mim e em minha capacidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xx
RESUMO	xxi
ABSTRACT.....	xxii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	5
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	6
2 AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	7
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
2.2 TIPOS DE AREIA EM FUNÇÃO DA EXTRAÇÃO	8
2.3 INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	10
2.3.1 Porosidade e Absorção	10
2.3.2 Aderência.....	10
2.3.3 Resistência à Compressão	11
2.3.4 Módulo de Elasticidade.....	11
2.3.5 Forma e Textura.....	12
2.3.6 Substâncias Deletérias	12
2.3.7 Distribuição Granulométrica	13
3 AGLOMERANTES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	14
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
3.2 CIMENTO	14
3.2.1 Definição	14
3.2.2 Composição do Cimento Portland.....	14

3.2.3	Influência das propriedades do cimento nos compósitos cimentícios.....	16
3.3	CAL	17
3.3.1	Definição	17
3.3.2	Composição da Cal.....	17
3.3.3	Influência das propriedades da cal nos compósitos cimentícios.	18
4	ARGAMASSAS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	19
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	19
4.3	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	20
4.3.1	Retração	21
4.3.2	Índice de Consistência, Trabalhabilidade e Plasticidade.....	22
4.3.3	Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado.....	23
4.3.4	Coesão e Exsudação	25
4.3.5	Resistência Mecânica.....	25
4.3.6	Absorção de Água por Capilaridade	28
4.3.7	Módulo de Elasticidade.....	29
4.3.8	Análise de propensão à fissuração	30
5	REVISÃO SOBRE AS METODOLOGIAS DE DOSAGEM DE ARGAMASSA	32
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	32
5.2	METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE SELMO (1989)	32
5.3	DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND E CAL PARA REVESTIMENTOS EXTERNOS DE FACHADA DOS EDÍFÍCIOS, SELMO E HELENE (1991).....	34
5.4	METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE LARA <i>et al.</i> (1995)	34
5.5	METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE CARNEIRO e CINCOTTO (1999)	36
5.6	METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE GOMES E NEVES (2002).....	37
5.7	METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS EM REDE SIMPLEX.....	38

5.8 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS PARA A DOSAGEM DAS ARGAMASSAS.....	40
6 MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS	41
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	41
6.2 MATERIAIS	41
6.2.1 Cimento, Cal e Água	41
6.2.2 Agregado	41
6.3 MÉTODO.....	42
6.3.1 Consistência	44
6.3.2 Densidade de massa e teor e ar incorporado no estado fresco.....	44
6.3.3 Densidade de massa no estado endurecido.....	45
6.3.4 Resistência à tração na flexão.....	45
6.3.5 Resistência à compressão.....	46
6.3.6 Módulo de Elasticidade Dinâmico	46
6.3.7 Resistência potencial de aderência à tração	47
6.3.8 Ensaio de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade	47
6.3.9 Ensaio de absorção de água por imersão e porosidade.....	48
6.3.10 Análise de microestrutura por lupa estereoscópica e microscópio óptico	48
7 PROPOSTA DE METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO DE ALVENARIA.....	49
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	49
7.2 ORGANOGRAMA ESQUEMÁTICO DA METODOLOGIA PROPOSTA....	49
7.3 PARÂMETROS CONDICIONANTES	51
7.4 DOSAGEM.....	52
7.4.1 Quantidade de agregado no traço	52
7.4.2 Quantidade de água no traço.....	54
7.4.3 Quantidade de aglomerante no traço	56
7.4.3.1 Determinação do consumo de aglomerante através de pontos extremos	57
7.4.3.2 Determinação do consumo de aglomerante através de pontos próximos	57
7.4.4 Ajuste experimental dos traços.....	59

7.4.5	Definição das propriedades e montagem dos corpos de prova	60
7.4.6	Definição do traço ideal.....	61
7.4.6.1	Determinação do traço ideal a partir de uma análise gráfica.....	61
7.4.6.2	Determinação do traço ideal a partir de uma análise matemática.....	63
7.4.6.3	Ajuste Final do Traço Ideal	65
8	RESULTADOS.....	66
8.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	66
8.2	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL – SEGUNDO O PROCESSO DE DOSAGEM.....	67
8.2.1	Definição de parâmetros dos materiais e das condições de uso..	67
8.2.1.1	Materiais	67
8.2.1.2	Condicionantes do uso	68
8.2.2	Consumo de areia	68
8.2.3	Consumo de água	69
8.2.4	Consumo de Aglomerante	69
8.2.5	Ajuste do traço	70
8.2.6	Definição das propriedades.....	70
8.2.7	Escolha do traço ideal.....	71
8.2.8	Validação da metodologia.....	74
8.3	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE REBOCO EXTERNO – SEGUNDO O PROCESSO DE DOSAGEM	75
8.3.1	Definição de parâmetros dos materiais e das condições de uso..	75
8.3.1.1	Materiais	75
8.3.1.2	Condicionantes do uso	76
8.3.2	Consumo de areia	77
8.3.3	Consumo de água	77
8.3.4	Consumo de Aglomerante	78
8.3.5	Ajuste do traço	79
8.3.6	Definição das propriedades.....	81
8.3.7	Escolha do traço adequado.....	81
8.3.8	Validação da metodologia.....	94
8.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DE DOSAGEM PROPOSTA	98

8.5 ANÁLISE TÉCNICO-CIENTÍFICA DOS TRAÇOS AO LONGO DA IDADE	99
8.5.1 Resistência à compressão.....	99
8.5.2 Resistência à tração na flexão.....	105
8.5.3 Módulo de elasticidade dinâmico e velocidade do pulso ultrassônico.....	109
8.5.4 Absorção de água por capilaridade	111
8.5.5 Absorção de água por imersão e porosidade	114
8.5.6 Teor de ar incorporado	116
8.5.7 Análise de microestruturas por lupa estereoscópica e microscópio óptico	118
8.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DOS TRAÇOS	123
8.7 PROPOSTA DE PLANILHA PARA EXECUÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO DE ALVENARIA	123
9 CONCLUSÃO.....	132
9.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	132
9.2 METODOLOGIA DE DOSAGEM.....	132
9.3 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES.....	135
9.4 PLANILHA ELETRÔNICA.....	138
9.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICE 1 – APLICABILIDADE DA EQUAÇÃO 20.	148
APÊNDICE 2 – EXEMPLO DO TESTE DA PLANILHA COM O AGREGADO NATURAL E CONDIÇÕES DA TESE.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de areia no Brasil.	8
Figura 2 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.	27
Figura 3 – Módulo de elasticidade em função das relações agregado/aglomerante e cal/cimento para as argamassas: (a) areia natural e (b) areia artificial.....	29
Figura 4 – Gráfico de relação entre “E” e relação de aglomerantes e fator a/c.	33
Figura 5 – Esquema ilustrativo do sistema de rede simplex para análise das proporções dos materiais.....	39
Figura 6 – Traços em função do uso da argamassa.....	40
Figura 7 – Organograma das atividades para implementação do método de dosagem.	50
Figura 8 – Imagens de lupa estereoscópica das argamassas dos traços básicos (a) 1; (b) 2 e (c) 3 para o agregado natural.....	118
Figura 9 – Imagens de lupa estereoscópica das argamassas dos traços básicos (a) 1; (b) 2 e (c) 3 para o agregado artificial.....	119
Figura 10 – Imagem de lupa estereoscópica do traço ideal da argamassa de revestimento com areia natural.....	119
Figura 11 – Imagem de microscópio óptico com ampliação de 50, 100 e 200 vezes do traço ideal com areia natural.	120
Figura 12 – Imagem de lupa estereoscópica do traço ideal.....	121
Figura 13 – Imagem de microscópio óptico com ampliação de 50, 100 e 200 vezes do traço ideal com areia artificial.	121
Figura 14 – Imagem de lupa estereoscópica: (a) traço 1; (b) traço 2; (c) traço 3 e (d) traço ideal da argamassa para assentamento de alvenaria estrutural.	122
Figura 15 – Imagem da planilha principal, na qual estão as diretrizes e a sequência executiva da dosagem.....	125
Figura 16 – Imagem da 2ª planilha, na qual são inseridas as informações básicas dos materiais e condicionantes da obra.....	126
Figura 17 – Imagem da 3ª planilha, em que são obtidas as informações dos traços básicos.....	127

Figura 18 – Imagem da 4ª planilha, na qual obtém as informações dos ajustes e se insere os adicionais, se houve, nos traços básicos.....	128
Figura 19 – Imagem da 5ª planilha, na qual se insere os resultados das propriedades dos traços básicos.	129
Figura 20 – Imagem da 6ª planilha, em que são obtidas as informações sobre o traço ideal.	130
Figura 33 – Imagem da 7ª planilha, na qual se apresentam o traço ideal, resumo das características de dosagem e se pode inserir uma condição de obra que para definição da quantidade e material.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais	9
Tabela 2 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa aparente no estado fresco (γ_f).....	24
Tabela 3 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa aparente no estado endurecido (γ_e).	24
Tabela 4 - Classificação das argamassas segundo a resistência à compressão.	26
Tabela 5 - Classificação das argamassas quanto a resistência potencial de aderência à tração.	27
Tabela 6 - Classificação das argamassas segundo o coeficiente de capilaridade.	28
Tabela 7 - Análise de propensão à fissuração.....	30
Tabela 8 – Consumo de água (l/m^3) em função do traço básico e do tipo de aglomerante.....	36
Tabela 9 – Consumo de cimento por m^3 de argamassa de acordo com local de aplicação da argamassa (kg).....	38
Tabela 10 - Resumo dos ensaios realizados no programa experimental.	43
Tabela 11 – Traços básicos em volume e percentual encontrados na bibliografia e amplamente utilizados no mercado.	53
Tabela 12 – Dosagem de argamassa com aglomerantes determinados por pontos extremos.....	57
Tabela 13 – Dosagem de argamassa mais pobre com aglomerante determinada por pontos próximos.....	58
Tabela 14 – Dosagem de argamassa mais rica com aglomerante determinada por pontos próximos.....	58
Tabela 15 – Traço ajustado – exemplo para definição do traço ideal.	62
Tabela 16 – Traços obtidos pelas equações dos gráficos 1 a 3 – exemplo.	64
Tabela 17 – Resultados encontrados para as propriedades - exemplo.	64
Tabela 18 – Características físicas da Areia Natural (AN) – dosagem de argamassa de alvenaria estrutural.....	67
Tabela 19 – Traços básicos para argamassa para alvenaria estrutural.....	69

Tabela 20 – Traços básicos ajustados – argamassa para alvenaria estrutural.	70
Tabela 21 – Teste ANOVA para regressão linear – argamassa para alvenaria estrutural.....	71
Tabela 22 – Resultados de compressão e tração na flexão para os traços de argamassa para alvenaria estrutural.....	72
Tabela 23 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para assentamento de alvenaria.....	73
Tabela 24 – Resultados de compressão e tração na flexão para os traços de argamassa para alvenaria estrutural.....	74
Tabela 25 – Características físicas dos agregados miúdos – dosagem de reboco.	76
Tabela 26 – Propriedades condicionantes para as argamassas de reboco.....	77
Tabela 27 – Traços básicos – argamassa com areia natural para reboco.....	78
Tabela 28 – Traços básicos – argamassa com areia artificial para reboco.	78
Tabela 29 – Traços básicos ajustados – argamassa com areia natural para reboco.....	79
Tabela 30 – Traços básicos ajustados – argamassa com areia artificial para reboco.....	79
Tabela 31 – Teste ANOVA para regressão linear múltipla – argamassa para revestimento de reboco – areia natural.....	82
Tabela 32 – Valores de desvio padrão e R^2 – argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	82
Tabela 33 – Teste ANOVA para regressão linear múltipla – argamassa para revestimento de reboco – areia artificial.	83
Tabela 34 – Valores de desvio padrão e R^2 – argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	85
Tabela 35 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia natural.....	89
Tabela 36 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia artificial.....	89
Tabela 37 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia natural.....	92
Tabela 38 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia artificial.....	92

Tabela 39 – Traço ideal para areia natural.	92
Tabela 40 – Valores característicos, de dosagem e estimados para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	93
Tabela 41 – Valores encontrados para cada traço de argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.....	93
Tabela 42 – Resultados, erros e teste t encontrados para o traço adequado das argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	94
Tabela 43 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão dos traços básicos para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.....	100
Tabela 44 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia natural em relação ao tempo de cura.....	101
Tabela 45 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia artificial em relação ao tempo de cura.....	101
Tabela 46 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural - compressão.	102
Tabela 47 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão dos traços de argamassas de assentamento de alvenaria.....	103
Tabela 48 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia natural em relação ao tempo de cura.....	104
Tabela 49 – Teste t para argamassa para assentamento de alvenaria - compressão.	104
Tabela 50 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão dos traços básicos para as argamassas de reboco – areias natural e artificial.....	105
Tabela 51 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – tração na flexão.	107
Tabela 52 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão dos traços de argamassas de assentamento de alvenaria.....	108
Tabela 53 – Teste t para argamassa para assentamento de alvenaria – tração na flexão.	108
Tabela 54 – Resultado ao longo da idade para a velocidade do pulso ultrassônico do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.....	109

Tabela 55 – Resultado ao longo da idade para o módulo de elasticidade dinâmico do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.....	110
Tabela 56 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – módulo de elasticidade.	110
Tabela 57 – Resultado da absorção de água por capilaridade do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.....	111
Tabela 58 – Resultado da absorção de água por capilaridade para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	112
Tabela 59 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – absorção por capilaridade.....	112
Tabela 60 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – coeficiente de capilaridade.....	113
Tabela 61 – Resultado da absorção (A_b) e Porosidade (P_r) para os traços de argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	115
Tabela 62 – Teste t para argamassa de reboco com areia artificial e natural – absorção por imersão.	115
Tabela 63 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural - porosidade.	116
Tabela 64 – Resultado do Teor de ar incorporado (T_{ar}) dos traços das argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.	117
Tabela 65 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – absorção por imersão.	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de material em função da resistência à compressão (f_c) – exemplo.	62
Gráfico 2 – Consumo de material em função da resistência à tração na flexão (f_t) – exemplo.	62
Gráfico 3 – Consumo de material em função da resistência potencial de aderência à tração (A_d) – exemplo.....	63
Gráfico 4 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural para a dosagem argamassa de alvenaria estrutural.....	68
Gráfico 5 – Consumo de material em função da resistência à compressão (f_c) – 14 dias.	72
Gráfico 6 – Relação entre a resistência à tração na flexão (f_t) e a resistência à compressão (f_c) – 14 dias.	73
Gráfico 7 – Consumo de material em função da resistência a tração na flexão (f_t) – 14 dias.	74
Gráfico 8 – Resultado da resistência à compressão (f_c) e à tração na flexão (f_t) aos 14 dias para o traço ideal para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural.....	74
Gráfico 9 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural e artificial para dosagem de reboco.	76
Gráfico 10 – Proporcionamento dos materiais nos traços para reboco.	80
Gráfico 11 – Proporcionamento dos materiais versus resistência à compressão nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.	85
Gráfico 12 – Proporcionamento dos materiais versus resistência à tração na flexão nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.....	85
Gráfico 13 – Proporcionamento dos materiais versus resistência potencial de aderência à tração nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.	86

Gráfico 14 – Proporcionamento dos materiais versus coeficiente de capilaridade nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.	86
Gráfico 15 – Proporcionamento dos materiais versus massa específica no estado fresco e endurecido nos traços para revestimento de reboco com areia natural.....	87
Gráfico 16 – Proporcionamento dos materiais versus massa específica no estado fresco e endurecido nos traços para revestimento de reboco com areia artificial.....	87
Gráfico 17 – Valores do módulo de elasticidade dinâmico para cada traço para revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	88
Gráfico 18 – Valores da correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência a tração na flexão para cada traço para revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	88
Gráfico 19 – Correlação entre as propriedades dos traços para revestimento de reboco com areia natural.	90
Gráfico 20 – Correlação entre as propriedades dos traços para revestimento de reboco com areia artificial.	91
Gráfico 21 – Resultado dos corpos de prova para a resistência à compressão das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	95
Gráfico 22 – Resultado dos corpos de prova para a resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	95
Gráfico 23 – Resultado dos corpos de prova para a resistência potencial de aderência à tração das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	95
Gráfico 24 – Resultado dos corpos de prova para o coeficiente de capilaridade das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	96
Gráfico 25 – Resultado dos corpos de prova para o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	96
Gráfico 26 – Resultado dos corpos de prova para a densidade de massa no estado endurecido das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	96

Gráfico 27 – Resultado dos corpos de prova para a densidade de massa no estado fresco das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	97
Gráfico 28 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	99
Gráfico 29 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão para as argamassas de assentamento de alvenaria.....	103
Gráfico 30 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	105
Gráfico 31 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão para as argamassas de assentamento de alvenaria.....	107
Gráfico 32 – Resultado ao longo da idade para a velocidade do pulso ultrassônico para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	109
Gráfico 33 – Resultado ao longo da idade para o módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	109
Gráfico 34 – Resultado ao longo da idade para a absorção de água por capilaridade para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	111
Gráfico 35 – Resultado ao longo da idade para a absorção por imersão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.	114
Gráfico 36 – Resultado ao longo da idade para a porosidade das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.....	114
Gráfico 37 – Resultado ao longo da idade para o teor de ar incorporado para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.	116

LISTA DE SÍMBOLOS

f_c – resistência à compressão axial (MPa);

f_t – resistência à tração na flexão (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

A – área da seção transversal do corpo-de-prova (mm^2).

d – diâmetro do corpo-de-prova (mm);

L – altura do corpo-de-prova (mm).

E_d – módulo de elasticidade (GPa);

σ_b – tensão maior, $0,3f_c$ (MPa);

σ_a – tensão básica, $0,5\text{MPa}$ (MPa);

ε_b – deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior;

ε_a – deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica;

ΔL – variação de comprimento à idade x (%);

ΔL_x – leitura do comprimento com o corpo-de-prova na idade x (mm);

ΔL_i – leitura inicial (mm);

L_g – é a base de medida, em função do tipo de comparador utilizado (mm).

R_A – resistência de aderência à tração, em MPa;

P – carga de ruptura, em N;

A – área da pastilha, em mm^2 .

A_d – resistência potencial de aderência à tração (MPa);

A_c – absorção de água por capilaridade (%);

A – massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água (g);

B – massa do corpo-de-prova seco (g);

S – área da seção transversal (cm^2).

V – velocidade de propagação (km/s);

L – distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores (km);

t – tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção (s).

A_i – absorção de água por imersão (%);

M_{sat} – massa do corpo-de-prova que ficou imerso em água (g) com superfície seca;

M_{seca} – massa do corpo-de-prova seco (g);

$C_{aglomerante}$ = teor de aglomerante no traço, em %;

$C_{cimento}$ = teor de cimento no traço, em %;

C_{cal} = teor de cal no traço, em %;

C_{areia} = teor de agregados miúdos no traço, em %;

q = aditivos, em % - definido de forma experimental durante o ajuste do traço;

p = adições, em % - definido de forma experimental durante o ajuste do traço;

$C_{água}$ = teor de água no traço, em % - adotando-se inicialmente 15%;

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil

APPCAL – Associação Paranaense dos Produtores de Cal

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

IUPAC – *International Union of Pure and Applied Chemistry*

PIB – Produto Interno Bruto

SINDICAL – Sindicato das Indústrias de Cal

SSS – saturada superfície seca

RESUMO

SANTOS, White José dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa. Novembro de 2014. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. Orientadora: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Coorientadores: Reginaldo Carneiro da Silva e Leonardo Gonçalves Pedroti.

A construção civil apresenta crescimento acelerado ocasionando um aumento na demanda por materiais de construção e técnicas/práticas mais eficientes em prol da criação de sistemas construtivos, de modo a aumentar o número de pavimentos e ampliar vãos. As argamassas atualmente disponíveis, seja para fins de revestimento, assentamento, pisos ou até elementos estruturais, tem se tornado um empecilho ao desenvolvimento de algumas soluções técnicas devido a problemas para se obter boa qualidade e características adequadas a um fim mais específico, principalmente resistências mecânicas e de aderência. Diante deste contexto, este trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia de dosagem experimental que permita obter argamassas adequadas e de boa qualidade em função do local/condições de uso. Para validar esta metodologia, utilizou-se areia natural de rio e areia artificial de britagem, em traços que foram determinados conforme o processo de dosagem. Foram realizados ensaios de teor de ar incorporado; densidade de massa; consistência; resistências: à compressão axial, tração na flexão e potencial de aderência à tração; módulo de elasticidade dinâmico; absorção de água por imersão e por capilaridade, porosidade e avaliação da tendência a fissurabilidade em corpos de prova de argamassa, de modo a caracterizá-las. As inovações propostas neste trabalho são: a forma de obtenção dos teores de cada componente baseada nas características dos materiais e das condições da obra e a forma de obtenção do traço ideal através de curvas de aproximação por planilhas eletrônicas. Pode-se concluir que a metodologia é viável, confiável e eficiente, com parâmetros e condições de aplicação exequíveis em laboratório, fábricas, ou em obras, uma vez que corresponde a atividade simples que permitem obter os dados desejados com uma confiabilidade de 95%.

ABSTRACT

SANTOS, White José dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa. November, 2014. **Development of methodology for determination of coating and settlement mortar**. Adviser: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Co-advisers: Reginaldo Carneiro da Silva and Leonardo Gonçalves Pedroti.

The civil construction has accelerated growth leading to an increase on the demand for building materials and techniques more efficient practices for the creation of building systems in order to increase the number of floors and expand vain. The mortars currently available, either for the purpose of coating, laying, floors or even structural elements, has become an impediment to the development of some technical solutions due to problems to obtain good quality and appropriate characteristics to a more specific purpose, mainly mechanical strength and bond. Given this context, this work aims to develop a methodology of experimental dosage that allows to obtain adequate and good quality depending on the location / conditions of use mortars. To validate this methodology, we used natural river sand and artificial sand crushing in traits that were determined according to the dosing process. We conducted testing of incorporated air content; mass density; consistency; resistances: to axial compression, traction in flexion and potential adherence to traction; dynamic elastic modulus; water absorption by immersion and capillary, porosity and evaluation of the tendency to fissuring on test bodies of mortar in order to characterize them. The innovations proposed in this work are: how to obtain the contents of each component based on the characteristics of materials and the conditions of the work, and how to obtain optimal trace through approximation curves by electronic spreadsheets. It can be concluded that the methodology is viable, reliable, and efficient, with parameters and conditions of workable application in the laboratory, plants, or works, since corresponds to simple activity which allows to obtain the desired results with a reliability of 95% data.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As argamassas são extensivamente consumidas no mundo, seja como revestimento de paredes, tetos e pisos ou, assentamentos em alvenarias de vedação e estrutural (SANTOS, 2011). Nos últimos anos, muitas empresas estão substituindo as argamassas preparadas em obra pelas pré-fabricadas, devido à dificuldade de estocagem de materiais e dosagem de forma eficiente no canteiro de obras, aliadas às imprecisões encontradas e deficiências de metodologias de proporcionamento existentes (BARBOSA e SANTOS, 2013).

A ABNT NBR 13.281:2005 define as argamassas como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosadas em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Elas podem ser utilizadas em vários locais com função diferenciada, cada um dos empregos faz jus a uma série de propriedades que corresponde a um tipo de argamassa específico.

As argamassas devem: permitir deformações necessárias para os diversos tipos de ambientes/situações; suportar/aderir aos blocos; resistir às cargas atuantes sem apresentar rupturas; complementar sistemas de isolamento acústico e térmico; ter adequada resistência à compressão, à tração e ao ataque de agentes químicos oriundos de materiais de limpeza (se alvenaria à vista), dentre outros (MARTINELLI, 1989 e SÁNCHEZ, 2013).

É preciso considerar que as diversas metodologias disponíveis atualmente para argamassas se apresentam imprecisas ou muito restritivas a regiões ou tipos de materiais. As metodologias atuais compreendem: buscar o teor ótimo de material plastificante (saibro, filitos ou pó de calcário) conforme Selmo (1989) para condições generalistas, sem destacar com a relação entre este plastificante e a umidade; ou em atender condições específicas como a execução de fachadas de edifícios, segundo metodologia de Selmo e Helene (1991); o uso plastificantes à base de argilas específicas de uma região (caulim e arenoso), como no trabalho de Gomes e Neves (2002); dosar argamassas a

partir do consumo máximo de finos e através de fórmulas e consulta a tabelas , conforme Lara *et al.* (1995), que muitas vezes não representam a realidade dos materiais de uma determinada região; dosagem através de ajuste, a partir de conceitos de empacotamento de partículas, as curvas granulométricas do agregado miúdo segundo trabalho de Carneiro (1999) e; proporcionamento através de modelamento matemático em software estatísticos com Rede SIMPLEX, como os trabalhos de Bahiense *et al.* (2008) e Destefane e Holanda (2011).

O desempenho da argamassa está condicionado à aspereza, determinada em função da granulometria da areia (SAHMARAN *et al.*, 2009; MENG, 2012 e PENG *et al.*, 2009) acabamento final (ondulações); resistência mecânica (oriunda dos materiais empregados e de dosagem de forma eficiente), quantidade de água na mistura (HWANG e SOO KO, 2008; CADRY e DUVAL, 2002; SILVA, 2006).

Buscou-se com esta pesquisa obter uma metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria com eficiência adequada em termos de custo e desempenho, tanto com o uso de areia natural e/ou areia artificial.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil no Brasil apresenta crescimento acelerado ocasionando aumento na demanda por materiais de construção e técnicas/práticas mais eficientes. Neste contexto, têm grande destaque as construções em alvenaria estrutural, argamassa armada pré-moldada, pisos de alta resistência, revestimentos convencionais e de alta performance e alta resistência, dentre outros. Isto se aplica aos vários setores econômicos nos quais é requerido, por exemplo: aumentar o número de pavimentos e ampliar vãos e alturas; o desenvolvimento de seus elementos de forma mais resistente permitindo o uso destas técnicas em construções de padrões mais elaborados, de acabamento e leiaute diferenciados.

Percebe-se que uma parcela significativa das argamassas produzidas atualmente possuem resistência mecânica, de aderência e física insatisfatórias

para atender de forma plena a projetos com grandes cargas e condições ambientais mais severas (RIBEIRO e JAGADISCH, 2003; SANTOS; 2011). A seguir são apresentadas algumas situações encontradas em trabalhos a respeito de argamassa de Cimento Portland:

- A **argamassa armada**, segundo Mota e Oliveira (2013), vem sendo utilizada como material de reparo e reforço tanto em estruturas de concreto como de alvenaria, com resultados satisfatórios de resistência, ductilidade e durabilidade das estruturas. Bueno (2000) também apresenta estas argamassas em peças pré-fabricadas em construção de edificações para serviços de educação, saúde e para canalização de córregos e caixas para a ligação de rede coletora. Percebe-se que a qualidade da argamassa é essencial na proteção das armaduras contra corrosão, dependendo enfaticamente da relação água/cimento ($< 0,45$) (MOTA e OLIVEIRA, 2013).
- Para **alvenaria estrutural**, Lima (2010) destaca que o estudo da argamassa justifica-se porque esta desempenha um papel fundamental de ligação entre os blocos, devendo ser rigorosa a seleção dos materiais para sua produção e dosagem, sendo indispensável o controle da execução, garantindo-se a espessura estabelecida em projeto e as características do produto final. O autor constatou que a espessura e a resistência à compressão da argamassa de assentamento podem influenciar na resistência da alvenaria, sendo que a escolha correta deste compósito pode levar à otimização da utilização dos materiais associados.
- Os **revestimentos argamassados**, segundo Costa (2005) apresentam problemas na qualidade de produção em Porto Alegre, sendo os principais fatores os problemas na dosagem e misturas em canteiros de obras.
- Segat (2005) também verificou a presença de manifestações patológicas em **revestimentos externos de argamassa** de edificações de interesse social com dez anos de idade em Caxias do Sul – RS, sendo que das 1788 edificações analisadas 65,32% apresentavam fissuras disseminadas, 9,56% fissuras mapeadas, 2,13% manchas de umidade, 22,82% vesículas, 3,08% descolamento e 1,57% outros tipos de fissuras. O autor concluiu que a maioria das patologias eram oriundas de problemas na fase de dosagem e misturas dos materiais nos canteiros de obras.

- Segundo Carneiro e Cincotto (1999), a **composição e a dosagem das argamassas** adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e cadernos de encargos, contudo ainda de forma bastante empírica.
- Lara *et al.* (1995) afirmam que o adequado **desempenho das argamassas** depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento.

A escolha de um traço está condicionada ao desempenho esperado da argamassa ao longo do tempo, ou seja, sua **durabilidade**. No entanto, na prática identifica-se o emprego de traços mais pobres, como constataram Campiteli *et al.* (1995), Kilbert (1995) e Schwarw (2006), o que reduz a qualidade do revestimento.

As perspectivas são de mudança quanto aos procedimentos para a dosagem de argamassas, ressaltando-se que as publicações nacionais atuais são ainda bem divergentes (processo de dosagem, interferências dos constituintes, aspectos válidos para regionalidades específicas, condições ambientais, entre outros), como se constata pela análise dos trabalhos de Sabbatini *et al.* (1988), Martinelli (1989), Selmo (1989), Campiteli *et al.* (1995), Lara *et al.* (1995), entre outros.

Diante disto, o desenvolvimento de uma metodologia de dosagem de argamassas que permita obter de forma eficiente, alto desempenho e durabilidade estes compósitos, pode melhorar significativamente as características físicas e mecânicas dos elementos aos quais estiverem associadas, maximizando sua utilização para os locais convencionais e possibilitando a incrementação em obras de maior complexidade.

Evidencia-se a importância deste trabalho em prol do desenvolvimento tecnológico e de inovação, com a criação de uma metodologia de dosagem de argamassa para revestimentos e assentamentos mais eficiente, com desempenho igual ou superior às existentes, possibilitando o emprego de agregados naturais e artificiais, aglomerantes simples (cimento) ou composto (cimento e cal), além de permitir a obtenção de uma argamassa de alta resistência com uso de aditivos e adições minerais.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo desenvolver uma metodologia de dosagem experimental com abrangência sobre as argamassas destinadas a revestimento e assentamento em função das propriedades no estado fresco (coesão e consistência) e no estado endurecido: resistências mecânica (compressão, tração na flexão e potencial de aderência à tração) e indicadores de durabilidade (porosidade e absorção).

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, propôs-se desenvolver os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estudos teóricos sobre agregados, aglomerantes, argamassa, comportamento dos materiais compósitos e metodologias de dosagem; de forma a permitir o embasamento teórico-científico para o desenvolvimento deste trabalho.
- Propor uma metodologia de dosagem experimental baseada nos estudos realizados e aplicada às argamassas destinadas a revestimentos e assentamentos.
- Validar a metodologia com avaliação de características mecânicas, parâmetros que interferem na durabilidade, propriedades no estado fresco e teste estatísticos para análise da variância e dos intervalos de confiança.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este estudo concentrou-se na pesquisa teórico-experimental de busca de uma metodologia de dosagem de argamassas com agregados naturais e artificiais provenientes de apenas um fornecedor (cada), localizado na cidade de Belo Horizonte - MG. Esta limitação se deve, principalmente, à logística do transporte, além de estocagem e disponibilidade de material para a realização dos estudos. Associado a isto, foram avaliadas propriedades cujos equipamentos e procedimentos eram acessíveis nos Laboratórios da Universidade Federal de Minas Gerais, conforme disponibilidade dos recursos materiais, humanos e financeiros destinados à esta pesquisa.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta tese foi dividida em 9 Capítulos conforme descrito a seguir.

O Capítulo 1 corresponde à introdução que contém a apresentação do contexto da pesquisa e justificativa do tema, seguida pela descrição dos objetivos, limitações e estrutura do trabalho apresentado.

O Capítulo 2 discorre sobre os agregados para construção civil abordando seus tipos e propriedades e como isto influencia nas propriedades em relação ao uso na indústria da construção civil, sobretudo argamassas.

O Capítulo 3 aborda os aglomerantes para Construção Civil, destacando seus tipos e como eles influenciam nas propriedades das argamassas.

O Capítulo 4 apresenta as argamassas, descrevendo seus tipos, propriedades e intervenientes correlacionados.

Fecha-se a parte de revisão com o Capítulo 5, que se caracteriza pelo detalhamento das metodologias de dosagem de argamassas e comportamentos técnico-científicos já existentes para compósitos cimentícios, em especial para as argamassas, destacando suas vantagens, desvantagens e abrangências.

Para desenvolver e validar a metodologia, apresenta-se no Capítulo 6 (Materiais e Métodos Empregados) o detalhamento e caracterização dos procedimentos e técnica utilizados para desenvolver a metodologia; detalhamento dos materiais e ensaios que serão utilizados na pesquisa experimental de modo a viabilizar a verificação/certificação do método de dosagem experimental proposto.

O Capítulo 7 corresponde à apresentação da proposta de metodologia de dosagem de argamassa para revestimentos e assentamentos, a partir da revisão bibliográfica e de resultados de SANTOS (2011).

O Capítulo 8 aborda os resultados e análises técnicas-científicas e estatísticas, conclusões dos traços básicos e da validação da metodologia de dosagem proposta.

Tem-se o fechamento deste trabalho no Capítulo 9 com as conclusões e as sugestões para pesquisas futuras.

Encerra-se a tese com as referências bibliográficas citadas ao longo do trabalho segundo as normas vigentes.

2 AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O termo “agregados para a construção civil” é usado no Brasil pelo segmento do setor mineral que produz matéria-prima para emprego na construção civil, e se refere às substâncias minerais areia, cascalho e rocha britada que entram em misturas para produzir concreto, asfalto e argamassa ou são utilizados *in natura* em base de pavimentos.

Todas as unidades da federação do Brasil são produtoras de areia, sendo as estatísticas estimadas pela relação areia/cimento e areia/asfalto para os vários usos da areia na construção civil (DNPM – INFORME MINERAL, 2014). São Paulo é o estado com maior produção e consumo, concentrando 23,3% do total nacional em 2012, seguido por Minas Gerais (11,8 %) e Rio de Janeiro (7,35%). Quanto ao preço da areia, o mais alto (R\$40,00/t) em 2012 foi encontrado no Distrito Federal (DNPM - SUMÁRIO MINERAL, 2014).

Como principais municípios produtores, com mais de 1 milhão de toneladas em 2011, podem-se citar São Luís (MA), São Pedro do Paraná (PR), União da Vitória (PR), Cabo Frio (RJ), Seropédica (RJ), Viamão (RS), Anhembi (SP), Bofete (SP), Leme (SP), Mogi das Cruzes (SP), Mogi Guaçu (SP), Registro (SP), Roseira (SP) e Tremembé (SP) (DNPM - SUMÁRIO MINERAL, 2014).

O consumo de areia se dá praticamente todo na indústria da construção civil. Seu uso é dividido entre os subsetores de revenda (lojas de materiais de construção), concreto pré-misturado, fabricação de pré-moldados de concreto, concreto asfáltico e material para compor a base/sub-base de rodovias. Segundo informações constantes no site da ANEPAC (2014) o consumo de areia está dividido conforme Figura 1.

Em 2013 o cenário econômico da indústria de construção mostrou que, apesar de ter-se registrado uma desaceleração das vendas no mercado imobiliário, o crescimento da construção foi superior ao PIB (Produto Interno Bruto), com o crédito para habitação em contínua expansão, manutenção do pleno emprego e elevação dos custos da mão de obra (DNPM – INFORME MINERAL, 2014).

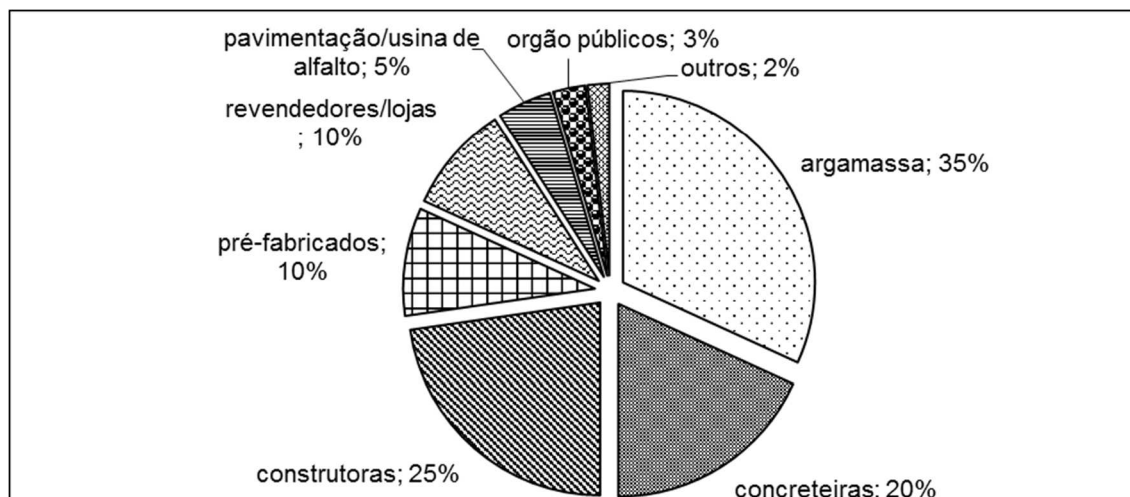


Figura 1 - Consumo de areia no Brasil.
Fonte: adaptado de ANEPAC, 2014.

Baseado no conhecimento das graves consequências ambientais oriundas da geração de resíduos e do elevado déficit de novas tecnologias ambientalmente corretas e sustentáveis, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias com o objetivo de minimizar seus efeitos, ressaltando a particularidade de cada país e histórico no que se refere ao desenvolvimento tecnológico, educação, clima, disponibilidade de área, entre outros.

Logo, devem-se desenvolver projetos de inovação que contenham uma estrutura com características, vantagens, desvantagens, limitações e abrangências conhecidas. Neste sentido o conhecimento das propriedades dos agregados como a massa específica, composição granulométrica, teor de umidade, dentre outras, é uma exigência na qualificação do material.

2.2 TIPOS DE AREIA EM FUNÇÃO DA EXTRAÇÃO

A areia natural é conceituada na indústria como um bem mineral constituído predominantemente por quartzo de granulação fina, e pode ser obtida a partir de depósitos de leitos de rios e planícies aluviais, rochas sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas. Areias de praias e dunas litorâneas não apresentam boa qualidade como material para construção civil devido à presença de sais (ANEPAC, 2014).

De acordo com o tipo de depósito mineral varia o processo de lavra, que pode ser por desmonte hidráulico, escarificação, ou simplesmente por dragagem. O beneficiamento da areia é baseado na classificação por peneiras, silos de decantação, e/ou hidrociclonagem, que separam granulometricamente as frações interessantes aos setores de aplicação. É comum, também, a comercialização do material mais grosso, separado nas primeiras peneiras estáticas, conhecido como cascalho, pedregulho ou pedrisco (ANEPAC, 2014), vide Tabela 1.

Nas minerações de areia que exploram o manto de alteração de rochas granitoides, o material resultante varia da fração grossa até a fina, dependendo da demanda do mercado (vide Tabela 1).

Tabela 1 - Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários Rochas sedimentares cenozoicas Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	Cava seca (Leito desviado de rio) Cava seca

Fonte: ANEPAC, 2014.

Nos portos de areia em leito de rio e cava submersa, praticamente todo o material extraído é comercializado, e os resíduos (predominantemente silicosos e com granulometria menor que 0,074 mm) retornam ao local em lavra, para preenchimento da cava (ANEPAC, 2014).

Observa-se a entrada no mercado de outro produtor de areia: o produtor de brita que pode operar a úmido, com a lavagem do pó de pedra para a diminuição da fração fina. Neste caso a areia resultante, denominada areia de brita ou areia de britagem, apresenta baixa quantidade de material pulverulento, e é comercializada até a fração 4,8 mm. Na construção civil o principal uso da areia é como agregado para concreto, argamassa, filtros, abrasivos, artefatos de concreto e pré-fabricados, bases de pavimentos de concreto e asfalto, dentre outros.

2.3 INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

2.3.1 Porosidade e Absorção

A presença de poros internos nos grãos dos agregados relaciona-se com sua massa específica e características de forma importante, pois influenciam algumas propriedades tais como a aderência entre agregado/pasta, a resistência ao congelamento e ao degelo, bem como a sua estabilidade química e resistência à abrasão (HWANG e SOO KO, 2008 e MAROLF *et al.*, 2004).

Alguns poros dos agregados estão no interior do sólido, onde a pasta aglomerante encontram dificuldade de penetração; outros se comunicam com a superfície da partícula. A entrada da água nos poros depende do tamanho, continuidade e volume total. Sendo assim, a absorção e a umidade superficiais do agregado serão diretamente influenciadas, pois estão relacionadas com a quantidade de água de amassamento. Destaca-se que maior absorção indica maior porosidade, maior grau de alteração e menor massa específica (ANDRADE *et al.*, 1997).

Embora não haja uma relação definida entre a resistência da argamassa e a absorção de água do agregado, os poros da superfície da partícula influenciam na sua aderência com a pasta podendo, portanto, exercer influência sobre as demais propriedades (LEE *et al.*, 2005). Langston *et al.* (2008), Mothé Filho *et al.* (2001) e Saboya Jr. *et al.* (2007), destacam que a inserção de agregados, com alta porosidade, podem reduzir a durabilidade do compósito, necessitando de ajustes no teor de pasta.

2.3.2 Aderência

A aderência dos agregados ocorre através do seu intertravamento com a pasta de aglomerante, em virtude da aspereza da superfície das suas partículas. NEVILLE e BROOKS (2013) enfatizam que superfícies mais ásperas resultam em melhor aderência. Há de se considerar, inclusive, que a aderência

é influenciada também pela composição química e mineralógica do agregado, bem como pela condição eletrostática da superfície. Em qualquer hipótese, é condição necessária que a superfície do agregado esteja limpa e livre de partículas de argila.

2.3.3 Resistência à Compressão

A resistência à compressão de argamassas não pode ser expressivamente maior do que a da maior parte do agregado, mesmo não sendo fácil determinar a resistência das partículas isoladas (NEVILLE e BROOKS, 2013). Se o corpo de prova argamassado tiver muitas partículas do agregado rompidas, conclui-se que a resistência do agregado é menor do que a resistência à compressão nominal da mistura (SENGUL *et al.*, 2002).

Neville e Brooks (2013) consideram que um bom valor médio da resistência à compressão do agregado é cerca de 200 MPa, porém muitos agregados excelentes têm resistência de até 80 MPa.

2.3.4 Módulo de Elasticidade

Segundo Neville e Brooks (2013), o módulo de elasticidade do agregado influencia na grandeza da retração e da fluência do compósito. A escolha de um tipo de agregado permite eliminar, ou pelo menos reduzir, a possibilidade de incompatibilidade elástica do agregado e da matriz, ou seja, em compostos em que o módulo de elasticidade do agregado é próximo ao da matriz as concentrações de tensões são mais uniformes e ocorrem na interface agregado/matriz (SAHMARAN e LACHEMI, 2009 e SENGUL *et al.*, 2002).

Segundo Cetin e Carrasquillo (1998) as características mineralógicas dos agregados são fatores importantes que influenciam nas propriedades mecânicas dos compostos cimentícios. O módulo de elasticidade independe do tamanho dos agregados para um mesmo teor, devido às forças de ligação existentes interna e externamente nestes.

2.3.5 Forma e Textura

A forma das partículas dos agregados, de acordo com Coutinho (1973) tem influência na trabalhabilidade, no ângulo de atrito interno, no estado fresco da argamassa, na compacidade, isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água de amassamento empregada nos argamassados. Mehta e Monteiro (2008) salientam que as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento do que partículas lisas e arredondadas para se produzir misturas trabalháveis e, dessa forma, aumentam o custo do produto final.

Considera-se que as partículas de elevada esfericidade, porém angulosas (com baixo valor do parâmetro de curvatura), são as ideais (WEJTZ, 2004). Partículas alongadas e lamelares devem ser evitadas na argamassa em virtude do valor da área específica e o consumo de pasta.

Geralmente a composição, textura e estrutura do agregado têm uma significativa influência na resistência e na elasticidade do conjunto argamassado, (SILVA, 1995). Assim sendo, uma resistência baixa pode ser devida à pequena resistência à compressão dos grãos constituintes, ou os grãos podem ser resistentes, mas não estão bem ligados entre si (CORINALDESI *et al.*, 2010; SALEM e BURDETTE, 1998 e SEGADÃES *et al.*, 2005).

2.3.6 Substâncias Deletérias

As substâncias deletérias presentes no agregado são as capazes de prejudicar a trabalhabilidade, a pega, a resistência, a estética e as características de durabilidade. Há três categorias de substâncias deletérias presentes nos agregados: impurezas que interferem no processo de hidratação do aglomerante; películas que impedem a aderência efetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada; e partículas fracas ou não sãs (KARASAHIM e TERZI, 2007 e MUÑOZ *et al.*, 2010); além dos efeitos deletérios envolvendo reações químicas com o aglomerante, por exemplo, a reação álcali-agregado.

Coura (2009) ressalta alguns constituintes mineralógicos dos agregados que reagem com os hidróxidos alcalinos dissolvidos na solução dos poros. Um

dos produtos formados na reação é o gel higroscópico expansivo, cuja composição química inclui sílica, álcalis e ocasionalmente uma pequena quantidade de cálcio (MCNALLY *et al.*, 2005 e SAOUMA e PEROTTI, 2006).

A intensidade do fenômeno, sua velocidade e grandeza das deformações dependem de muitos fatores, entre os quais podem-se destacar a quantidade e as características dos agregados reativos utilizados; os níveis de álcalis do cimento; a temperatura; a disponibilidade de umidade; a dosagem dos materiais; a permeabilidade da pasta de cimento hidratada e a presença de adições minerais (COURA, 2009 e MONTEIRO *et al.*, 2001).

2.3.7 Distribuição Granulométrica

A distribuição granulométrica das partículas de um agregado influencia propriedades do compósito cimentício tais como trabalhabilidade e o custo (DE LARRARD, 2009). Sahmaran *et al.* (2009) apresenta que areias mais grossas produzem misturas ásperas e menos trabalháveis, as mais finas por sua vez aumentam o consumo de água e cimento. Há outros fatores que dirigem a escolha da dimensão do agregado para uma mistura, como, a dimensão máxima característica, módulo de finura e teor de finos (COUTO e SANTOS, 2012).

Nos agregados com granulometria distribuída uniformemente e que possuem forma adequada (esférica), é possível obter um produto compacto e resistente para um teor mínimo de cimento, reduzindo, paralelamente, o risco de segregação e, em especial, produzindo misturas mais trabalháveis e econômicas (MENG *et al.*, 2012).

A presença de pó fino inerte pode aumentar a taxa de hidratação inicial do cimento Portland, segundo Peng *et al.* (2009), Kadri e Duval (2002) e Souza *et al.* (2010), resultando no aumento o calor de hidratação. Para pós ativos (hidráulicas e/ou pozolânicas), a nucleação heterogênea de hidratos, o que desacelera a hidratação.

A área superficial dos agregados também apresenta influência sobre as propriedades mecânicas de argamassas, logo, indica-se realizar proporcionamento das misturas considerando diretamente essa variável (Goble e Cohen, 1999).

3 AGLOMERANTES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os aglomerantes são substâncias finamente pulverizadas que, pela mistura com a água, são capazes de formar uma pasta com poder cimentante. O endurecimento geralmente ocorre de forma lenta, resultante de uma reação entre o aglomerante e a água, de caráter físico, químico ou físico-químico (ISAIA, 2010).

Tem-se como classificações segundo as propriedades do aglomerante, em aéreos (conservam suas propriedades somente em presença do ar, como por exemplo, a cal aérea e o gesso) e os hidráulicos (além do ar conservam suas propriedades também na água, com por exemplo os cimentos).

3.2 CIMENTO

3.2.1 Definição

A ABNT NBR NM 2:2000 define Cimento Portland como um cimento hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidratados e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio.

3.2.2 Composição do Cimento Portland

O Cimento Portland é composto de clínquer e de adições finamente moídas. As adições podem variar e são elas que definem os diferentes tipos, segundo a normalização brasileira. A seguir descreve-se a composição do cimento Portland (ISAIA, 2010 e ISAIA, 2011):

- **CLÍNQUER:** possui o calcário e a argila como matérias-primas, ambos obtidos de jazidas situadas, geralmente, nas proximidades das fábricas de cimento.

São inseridos em um forno com temperatura interna de aproximadamente 1450°C gerando o clínquer (nódulos de 5 a 25 mm de diâmetros de material sinterizado), que se apresenta em nódulos. Na saída do forno, o clínquer incandescente é bruscamente resfriado, posteriormente é moído e adicionado gesso e/ou outras adições especificadas pela normalização brasileira, transforma-se no cimento.

- **ADIÇÕES:** são as matérias-primas que misturadas ao clínquer na fase de moagem, segundo os requisitos prescritos na normalização brasileira, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado.
- **Gesso:** tem a função de aumentar o tempo de endurecimento do clínquer moído (o cimento, em contato com a água, endureceria instantaneamente), inviabilizando o seu emprego nas obras de construção civil. Sendo assim, ele está presente em todos os cimentos no teor de aproximadamente 3%.
 - **Escória:** as escórias de alto-forno são obtidas durante a produção do ferro-gusa, nas indústrias siderúrgicas e consistem em um tipo de material cimentante que atende plenamente aos usos mais comuns e que apresenta melhoria em algumas propriedades, como: menor calor de hidratação, maior durabilidade, em especial em ambientes agressivos.
 - **Pozolana:** os materiais pozolânicos são as rochas vulcânicas, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (entre 550 °C a 900 °C) e, também, as cinzas provenientes da queima de carvão mineral em usinas termelétricas, dentre outros. As reações destes materiais ocorrem, somente, se além da água, forem colocados na presença de clínquer, tornando-se viável sua adição até um determinado limite, especificado pela normalização. Os cimentos com essas adições oferecem a vantagem de maior impermeabilidade.
 - **Sílica Ativa:** trata-se de um produto obtido nos filtros durante a fabricação do silício-metálico. Ao sair do forno elétrico onde é gerado na forma de gás SiO, oxida-se passando a SiO₂, formando partículas sólidas extremamente finas (menor que a do cimento) na ordem de 0,2 µm e em condição amorfa.
 - **Carbonatos:** os materiais carbonáticos são minerais moídos, tais como o calcário. Essa adição torna os concretos e as argamassas mais trabalháveis, porque os grãos moídos possuem dimensões adequadas para se alojar

entre as partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como um lubrificante. Quando presentes nos cimentos são conhecidos como filler calcário.

3.2.3 Influência das propriedades do cimento nos compósitos cimentícios

Os cimentos são especificados pela sua composição química, tipo de adição e suas propriedades físicas, descritas a seguir (ISAIA, 2011 e METHA e MONTEIRO, 2008):

- a) Finura:** determinada através da peneira da malha nº. 200 (0,075 mm) (ABNT NBR 11579: 2013), permeabilímetro ao ar de Blaine (ABNT NBR NM 76: 1996) e granulometria a laser. Pelo emprego da peneira 75 µm (nº 200), pode ser feito por procedimentos manuais e mecânicos, corresponde à porcentagem em massa de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm. Influencia no aumento do desenvolvimento de calor, da retração, da resistência ao longo do tempo e reduz a porosidade (LANGE *et. al.*, 1997).
- b) Expansibilidade:** o cimento pode apresentar cal livre (CaO) ou magnésia (MgO) livre em teores elevados, que em contato com a água, produzem Ca (OH)₂ e Mg (OH)₂. Estas reações provocam aumento de volume, logo, o compósito apresentaria fissuração excessiva. A avaliação da expansibilidade pode ser feita com as Agulhas de *Le Chatelier*, segundo a ABNT NBR 11582:2012.
- c) Tempo de Pega:** é o período em que o cimento permite a aplicação adequada de pastas, argamassas ou concretos, sem perda de plasticidade e trabalhabilidade. Trata-se do início das reações de hidratação; a pasta de cimento vai aumentando a consistência até o endurecimento, ABNT NBR NM 65: 2003.
- d) Calor de Hidratação:** corresponde a reações exotérmicas com acontecem no processo de hidratação do cimento (reação entre a água e o cimento), podendo ocorrer durante meses, em função do consumo de cimento e/ou volume do concreto. A quantidade de calor gerado depende da composição química do cimento, quantidade e tipo de adições, finura, etc. Pode ser avaliada pelo procedimento descrito pela ABNT NBR 13116:1994.

- e) **Resistência à compressão:** a resistência à compressão do cimento é avaliada de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura de argamassa com traço normalizado e areia padrão, ABNT NBR 7215: 1997;
- f) **Perda ao Fogo:** através deste ensaio controla-se o teor de material carbonático presente no cimento. É regido pela ABNT NBR NM 18:2012;
- g) **Massa Específica:** a ABNT NBR NM 23:2001 descreve o processo de obtenção da massa específica a ser empregada no cálculo de dosagens de concretos e argamassas;
- h) **Área Específica:** a superfície específica (superfície referida à massa) é medida pela comparação com uma amostra de cimento de referência através do método de permeabilidade ao ar (método de Blaine), ABNT NBR NM 76:1998. A determinação da superfície específica serve principalmente para checar a uniformidade do processo de moagem de uma fábrica.

3.3 CAL

3.3.1 Definição

A cal é um aglomerante inorgânico obtido pela calcinação dos calcários (CaCO_3) ou dolomitos ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), através de uma reação química de decomposição térmica. Esta decomposição dá origem à cal virgem que por sua vez, ao contato com água, forma a cal hidratada (ISAIA, 2010).

3.3.2 Composição da Cal

A cal hidratada é definida como o pó obtido pelo tratamento da cal virgem pela água, em quantidade suficiente para satisfazer a sua afinidade química nas condições de hidratação. Assim como a cal virgem, ela pode ser do tipo cálcica ou dolomítica, sendo que esta pode apresentar-se como cal mono-hidratada dolomítica (quando hidratada a pressões normais) e cal di-hidratada dolomítica, quando o processo ocorre a pressões mais elevadas (ISAIA, 2010).

Na hidratação completa da cal virgem alta em cálcio são necessários 32,1% de água, mas o volume empregado para a hidratação industrializada varia segundo as características físicas, químicas e mineralógicas da cal. Sendo assim, alguns autores indicam 45% ou 52% (ISAIA, 2010). Este autor afirma que a hidratação é um processo contínuo, com velocidade que depende das condições de calcinação da matéria-prima. Comparativamente, é sempre mais lenta para o óxido de magnésio. Quando esta reação não é completa durante a extinção em fábrica, pode continuar após o ensacamento. O inconveniente é o aumento de volume que acompanha a reação de hidratação que é de 100% para o CaO e 110% para o MgO.

De acordo com a normalização brasileira (ABNT NBR 6473:2003 e ABNT NBR 7175:2003), as principais determinações a serem realizadas numa cal para verificação de sua qualidade são a composição química e a finura. A quantidade de óxidos presentes numa cal representa o seu grau de pureza, e os teores de anidrido carbônico e resíduo insolúvel que demonstram o nível de impureza.

3.3.3 Influência das propriedades da cal nos compósitos cimentícios.

A cal como aglomerante possui propriedades peculiares que a tornam imprescindível na construção civil, especialmente para as argamassas. Dentre elas destacam-se a plasticidade conferida às pastas e argamassas permitindo assim maiores deformações sem fissuração; e a retenção da água de amassamento, resultando numa melhor aderência.

Quanto às propriedades físicas, busca-se conhecer a finura da cal, a qual a normalização brasileira atém-se apenas ao peneiramento, detectando partículas grandes, maiores que 0,075 mm, que são indícios de hidratação incompleta e impurezas minerais. O tamanho das partículas é uma característica importante, uma vez que, quanto menores as dimensões, maiores serão suas superfícies específicas aumentando, portanto, as áreas de ataque no momento das reações, ou seja, mais partículas poderão combinar-se entre si. Isaia (2010) destaca que área superficial específica da cal é 10 vezes maior do que a do cimento.

4 ARGAMASSAS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As argamassas são extensivamente consumidas, seja como revestimento de paredes, tetos, pisos ou assentamentos. A ABNT NBR 13.281:2005 define as argamassas como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosadas em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas podem ser utilizadas em vários locais com função diferenciada, cada um dos empregos faz jus a uma série de propriedades que correspondem a um tipo de argamassa específico. Isaia (2010) e a ABNT NBR 13529:2013 classificam as argamassas quanto à: natureza do aglomerante (aérea e hidráulica); número de aglomerantes (simples e mista); tipo de aglomerante (cal, cimento e mista); função do revestimento (chapisco, emboço e reboco); forma de preparo ou fornecimento (dosada em central, preparada em obra, industrializada e semi-pronta); propriedades especiais (aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termo isolante); número de camadas de aplicação (camada única ou de duas camadas); ambiente de exposição (paredes internas, paredes externas, contato com o solo); comportamento à umidade (comum, permeabilidade reduzida, hidrófuga); comportamento à radiação (proteção radiológica); comportamento ao calor (termo isolante); acabamento de superfície (camurçado; chapiscado; desempenado; sarrafeado; imitação travertino; lavado; raspado).

Silva (2006) define as argamassas de revestimentos de paredes e tetos, como:

- **Chapisco:** trata-se de um procedimento de preparação da base (substrato), possuindo uma espessura irregular, sendo necessário ou não, conforme a natureza da superfície. Seu objetivo é melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento ao substrato em situações críticas.
- **Emboço:** trata-se de uma camada cuja principal função é a regularização da superfície de alvenaria, devendo apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm, sendo aplicado diretamente sobre a base previamente preparada, destinando-se a receber as camadas posteriores do revestimento (reboco, cerâmica, ou outro revestimento final). Por isso, deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com a aderência do acabamento final previsto, obtidos pela granulometria dos materiais e pela técnica de execução.
- **Reboco:** é a camada de acabamento aplicada sobre o emboço, com espessura suficiente para constituir uma película contínua e íntegra, com no máximo 5,0 mm de espessura. Trata-se do elemento que confere a textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas, sendo a pintura, em geral, aplicada diretamente sobre ele. Não deve apresentar fissuras e precisa possuir elevada capacidade de acomodar deformações.
- **Massa Única** ou emboço paulista: é o revestimento executado em uma única camada. Neste caso, a argamassa e a técnica de execução deverão resultar num produto capaz de cumprir as funções, tanto do emboço quanto do reboco, ou seja, regularizar a base e promover o acabamento final.

4.3 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As argamassas possuem uma série de propriedades que assumem maior ou menor relevância em função da aplicação. Algumas podem ser caracterizadas como sendo determinantes no estado fresco, e outras no endurecido.

A seguir são apresentadas as principais propriedades das argamassas de revestimento de parede e assentamento de alvenaria e suas influências nas características durante a vida útil da edificação.

4.3.1 Retração

A retração é um fenômeno que ocorre pela redução do volume da argamassa devido à perda de água para o substrato por sucção, evaporação ou pela reação química dos componentes do cimento e da cal (SILVA, 2006).

As fissuras por retração plástica podem aparecer após o acabamento do revestimento ou, até mesmo, durante a fase de desempenho, podendo ser mapeadas, visíveis ou em microfissuras, atingindo ou não toda a espessura do revestimento. Sua dimensão (abertura - largura) é maior na superfície, diminuindo rapidamente com a profundidade (SILVA, 2006). Santos (2008) menciona que estas fissuras permitem a percolação de água pela argamassa já endurecida, comprometendo a sua estanqueidade e, conseqüentemente, sua durabilidade.

Segundo Bastos (2001) a retração pode ser classificada em:

- **Plástica:** caracteriza-se pela perda de água antes da pega do cimento, quando a fração sólida da mistura dispõe de mobilidade, nesta a diminuição do volume do sistema corresponde ao volume de água perdida;
- **No estado endurecido,** ocorre após a pega do cimento, sendo conhecida por retração na secagem. Depende do tamanho e do tipo de vazios que perde água e da forma como a água está ligada às superfícies sólidas da pasta endurecida: livre, se adsorvida nas paredes internas de sua estrutura; entre as camadas do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) ou combinada quimicamente.

Silva (2006) menciona que além da perda da água, a retração pode ter outras causas, tais como: retração térmica, por carbonatação, por hidratação do cimento e autógena, que podem ocorrer ao mesmo tempo ou em fases diferentes da vida útil da argamassa de revestimento. Acrescentam-se ainda os fatores que influenciam a retração, tais como: tipo de aglomerante, temperatura ambiental, incidência da radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, dentre outros.

Silva (2006) afirma que a retração por secagem das argamassas de revestimento, na maioria das vezes, é a principal causa de fenômenos patológicos, sendo os principais fatores que a influenciam:

- **Condições externas:** perda de água para a base/substrato onde é aplicada a argamassa, por sucção, que depende do grau de absorção da mesma e das condições climáticas de irradiação solar, temperatura, umidade relativa e vento.
- **Características inerentes à própria argamassa:** destacando-se a granulometria, a finura (dimensões inferiores a 0,075 mm) e a forma geométrica do agregado, as quais irão determinar a quantidade de água ou pasta aglomerante necessária na dosagem. Quanto maior o teor de água e aglomerantes e menor o teor de agregados, maior será a variação volumétrica durante a retração;
- **Capacidade de retenção de água da argamassa:** pode diminuir os efeitos negativos de uma secagem acelerada, logo a importância da cal no processo de retração (grande retentora de água) e dos aditivos incorporadores de ar.

4.3.2 Índice de Consistência, Trabalhabilidade e Plasticidade

A consistência é a propriedade na qual a argamassa no estado fresco tende a resistir às deformações. A quantidade de água existente na argamassa é o principal fator que influencia esta propriedade; além da relação água/aglomerante, aglomerante/agregado, granulometria do agregado, natureza e qualidade do aglomerante. Esta consistência está associada à trabalhabilidade (facilidade de manusear) a argamassa durante a sua aplicação.

Cincotto *et al.* (1995) classificam as argamassas quanto à consistência em:

- **Argamassas secas:** é necessária a aplicação de energia para conformá-las em sua forma final, sendo que a pasta preenche os vazios entre os grãos;
- **Argamassas plásticas:** a aplicação de um pequeno esforço, atingem a sua forma final, em que a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados;
- **Argamassas fluidas:** escorrem e se auto nivelam, dispensando qualquer esforço, além da força da gravidade. Neste caso, os grãos ficam imersos na pasta.

Para avaliar a consistência de argamassas, realizam-se os procedimentos prescritos na ABNT NBR 13276:2005, através da mesa de consistência (*flow table*). Contudo, conforme mencionado por Gazola (2007) e Santos (2008), este método é muito criticado, visto que não possui sensibilidade para medir a reologia da argamassa.

A trabalhabilidade pode ser considerada como uma propriedade subjetiva das argamassas, uma vez que não existe uma trabalhabilidade padrão a ser utilizada, sendo caracterizada pela consistência e plasticidade que descrevem a facilidade de mobilidade e a coesão, representada pela resistência à exsudação ou à segregação. Sousa e Lara (2007) afirmam que a trabalhabilidade é uma das propriedades mais importantes no estado fresco, visto que indica convenientemente sua utilização.

A plasticidade é a propriedade que permite à argamassa deformar e reter certas deformações após a redução das tensões a que foi submetida, estando diretamente ligada a sua consistência, coesão, retenção de água e a reologia (CARDOSO, 2009). Uma argamassa terá boa plasticidade quando se espalhar facilmente sobre o substrato e aderir à sua superfície ou, no caso de revestimentos, quando proporcionar facilidade no seu acabamento final.

4.3.3 Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado

O ensaio de densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa fresca é determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme prescreve a ABNT NBR 13.278:2005. A avaliação dos resultados pode revelar que o teor de ar influencia a trabalhabilidade, e pode impactar nos valores de resistência mecânica das argamassas, contudo, pode beneficiar na melhoria de sua deformabilidade. Além disso, o teor de ar incorporado contribui para o impedimento da passagem de água para o interior pelo fenômeno da capilaridade, pois as bolhas de ar incorporado podem interromper parte dos poros capilares das argamassas (FREITAS, 2010). A ABNT NBR 13.281:2005 classifica as argamassas, segundo a densidade de massa aparente no estado fresco (γ_f), conforme ilustrado na Tabela 2.

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido está prescrito na norma ABNT NBR 13280:2005, representando a relação entre a massa e o volume aparente da argamassa. O valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compactidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação, (FREITAS, 2010).

Tabela 2 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa aparente no estado fresco (γ_f).

Classe	Densidade de massa aparente no estado fresco (kg/m^3)
D1	≤ 1400
D2	1200 a 1600
D3	1400 a 1800
D4	1600 a 2000
D5	1800 a 2200
D6	> 2000

Fonte: ABNT NBR 13.281: 2005.

A ABNT NBR 13.281:2005 classifica as argamassas, segundo a densidade de massa aparente no estado endurecido (γ_e), Tabela 3, sendo avaliação feita pela ABNT NBR 13.280:2005.

Tabela 3 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa aparente no estado endurecido (γ_e).

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m^3)
M1	≤ 1200
M2	1000 a 1400
M3	1200 a 1600
M4	1400 a 1800
M5	1600 a 2000
M6	> 1800

Fonte: ABNT NBR 13.281: 2005.

No estudo efetuado por Silva (2006) em argamassas, empregando-se areia natural ou britada, constatou-se que o aumento na relação cal/cimento diminui a densidade de massa para ambos os casos; para uma mesma relação agregado/aglomerante, o incremento no teor de cal reduz a densidade de massa além de aumentar o consumo de água.

4.3.4 Coesão e Exsudação

A coesão, segundo Freitas (2010), pode ser entendida como união e aglutinação. Esta propriedade está diretamente ligada aos constituintes mais finos, isto é, à área específica dos sólidos, sendo a pasta a responsável pela coesão das argamassas. Assim sendo, pode-se dizer que a coesão no estado fresco vai refletir no estado endurecido, mais especificamente na resistência à tração, podendo ser avaliada através do ensaio de tração pura. Cabe destacar que, até o momento, não há um método de ensaio no Brasil que determine essa característica em laboratório.

A exsudação consiste no fenômeno de separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca mantida em repouso, sem qualquer tipo de vibrações ou choques. É uma forma de segregação, na qual os sólidos se sedimentam sob a força da gravidade, e a argamassa não retém a água da mistura em estado disperso enquanto os sólidos estiverem se assentando (SANTOS, 2008).

4.3.5 Resistência Mecânica

A resistência mecânica é usualmente definida como a propriedade das argamassas de suportarem as ações de diferentes naturezas como as oriundas da abrasão superficial, do impacto e de movimentação higroscópica e/ou estrutural; sendo a resistência à tração na flexão e à compressão axial determinadas segundo a ABNT NBR 13279:2005. A ABNT NBR 13281:2005 classifica as argamassas, segundo a resistência à compressão e à tração na flexão, conforme ilustrado na Tabela 4 e na Tabela 5.

Santos (2008) menciona que essa propriedade depende, basicamente, do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes empregados e da técnica de execução, sendo que esta última visa compactar as argamassas durante a sua aplicação e acabamento. Tem significativa influência da temperatura e da umidade no desempenho e vida útil das argamassas, bem como a resistência, que é inversamente proporcional ao consumo de água (relação água/cimento) devido ao aumento do índice de vazios.

Tabela 4 - Classificação das argamassas segundo a resistência à compressão.

Classe	Resistência à Compressão Axial (MPa) – ABNT 13279: 2005
P1	$\leq 2,0$
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,5 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	$> 8,0$

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

Tabela 5 - Classificação das argamassas segundo a resistência à tração na flexão.

Classe	Resistência à Tração na Flexão (MPa) – ABNT 13279: 2005
R1	$\leq 1,5$
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	$> 3,5$

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

Baía e Sabbatini (2008) definem a resistência potencial de aderência à tração como a capacidade que a argamassa possui de se manter fixa ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface substrato-argamassa. Logo, é resultado de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. As Figuras 2 de (A) até (H) ilustram os mecanismos de ruptura da aderência, sendo o ensaio prescrito pela norma ABNT NBR 13.528:2010.

Santos (2008) conceitua o desenvolvimento da aderência pelos mecanismos:

- **Aderência mecânica:** formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros do substrato;
- **Aderência química:** advêm de forças covalentes ou forças de Van der Waals, desenvolvidas entre o substrato e os produtos da hidratação do cimento.
 - Silva (2006) constatou que tanto para a areia natural quanto para a areia artificial britada, à medida que se aumenta a relação cal/cimento e a relação agregado/aglomerante, diminui-se a resistência de aderência à tração. As argamassas mistas (cimento e

cal), em geral, devido a sua plasticidade e a retenção de água, permitem o preenchimento das irregularidades da base, repercutindo de forma favorável sobre a aderência, bem como o teor de cimento tem influência diretamente proporcional na resistência de aderência das argamassas.

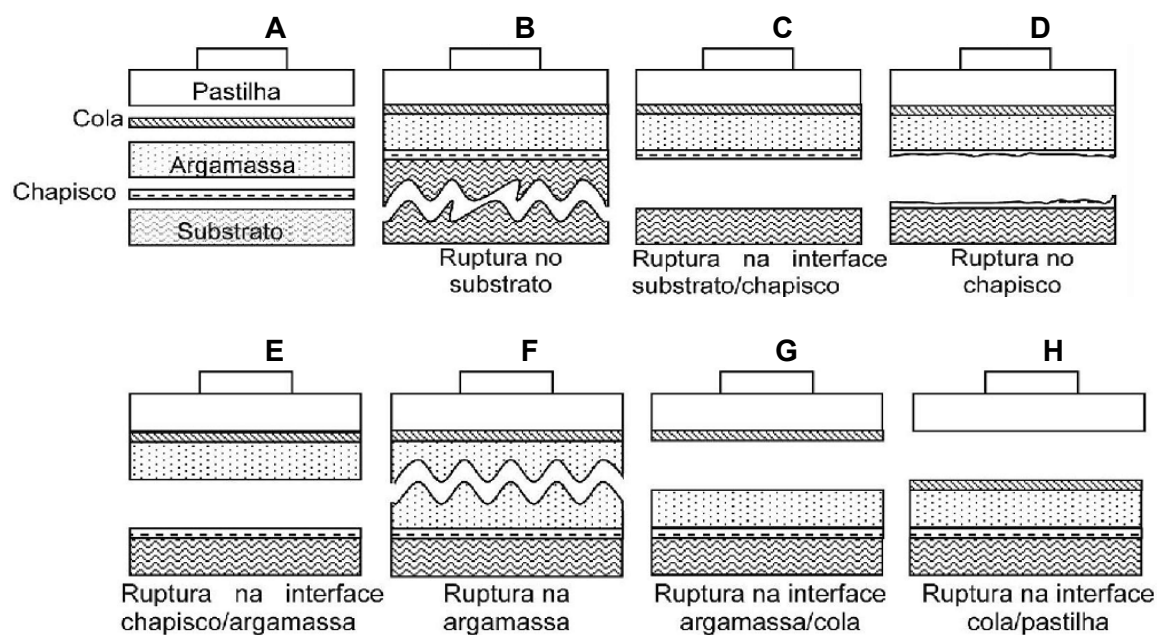


Figura 2 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.
Fonte: ABNT NBR 13.528:2010.

A ABNT NBR 13.281:2005 classifica as argamassas, segundo a resistência potencial de aderência à tração, conforme ilustrado na Tabela 85.

Tabela 5 - Classificação das argamassas quanto a resistência potencial de aderência à tração.

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)
A1	$\leq 0,2$
A2	$\geq 0,2$
A3	$\geq 0,3$

Fonte: ABNT NBR 13.281:2005.

4.3.6 Absorção de Água por Capilaridade

O excesso de água pode sair da mistura por exsudação, evaporação ou sucção da base (FREITAS, 2010). O aumento da absorção de água da argamassa pode ser conseguido com aumento da superfície específica dos constituintes ou com aditivos que, por suas características, absorvem a água ou impedem sua percolação através da massa sólida.

Segundo Baía e Sabbatini (2008) a permeabilidade está relacionada com a passagem de água pela camada de argamassa, que é um material poroso e permite a percolação da água tanto no estado líquido como no vapor. Neste sentido, depende da quantidade e do tipo de aglomerante utilizado, da granulometria do agregado e das características do substrato, sendo que o revestimento deve ser estanque à água, mas permeável ao vapor. A permeabilidade não é função simples da porosidade, mas depende, também, das dimensões, distribuição e continuidade dos poros.

Segundo Silva (2006) na maioria dos traços de argamassas que possuem a mesma relação agregado/aglomerante, à medida que aumenta a relação cal/cimento, aumenta-se o coeficiente de capilaridade devido, à diminuição do raio dos capilares com o incremento do teor de material fino. A Tabela 6 apresenta a classificação das argamassas segundo o seu coeficiente de capilaridade, segundo a ABNT NBR 13281:2005. A ABNT NBR 9779:2012 descreve o ensaio.

Tabela 6 - Classificação das argamassas segundo o coeficiente de capilaridade.

Classe	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² /mim ^{1/2})
C1	≤ 1,5
C2	1,0 a 2,5
C3	2,0 a 4,0
C4	3,0 a 7,0
C5	5,0 a 12,0
C6	> 10,0

Fonte: ABNT NBR 13.281:2005.

4.3.7 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade da argamassa sob tração ou compressão é dado pela declividade da curva tensão-deformação sob carga uniaxial, não sendo linear, o que permite dividir este módulo em três tipos (MEHTA e MONTEIRO, 2008): módulo tangente, módulo secante e módulo cordal.

As Figuras 3 (a) e (b) apresentam os valores dos módulos de elasticidade estáticos para argamassas confeccionadas com areias natural e britada, para várias relações de agregado/aglomerante e cal/cimento (SILVA, 2006).

Observando as Figuras 5 (a) e (b) constata-se que à medida que as relações cal/cimento e agregado/aglomerante aumentam, diminuem os valores do módulo de elasticidade, sendo mais acentuada para a relação agregado/aglomerante igual a 2, quando o teor de cimento é menor. Todas as argamassas produzidas com areia britada obtiveram módulo de elasticidade menores do que aquelas produzida com areia natural, para um mesmo proporcionamento de materiais, promovido pela maior esfericidade das partículas.

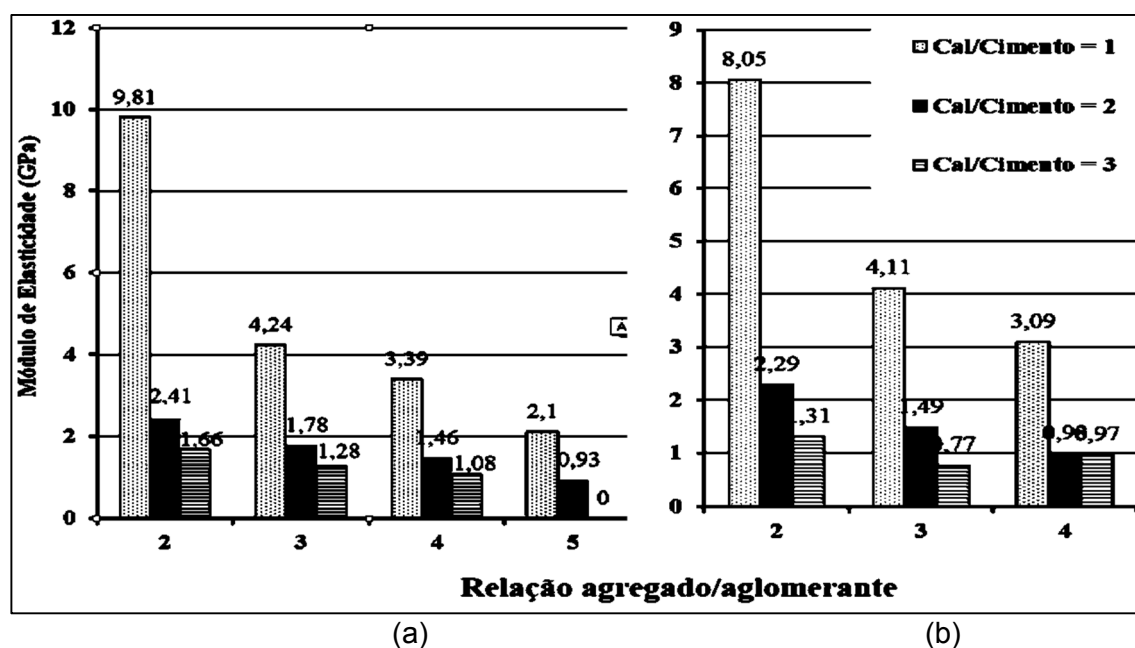


Figura 3 – Módulo de elasticidade em função das relações agregado/aglomerante e cal/cimento para as argamassas: (a) areia natural e (b) areia artificial.
Fonte: Adaptado de SILVA, 2006.

O Módulo de Elasticidade Dinâmico corresponde a uma deformação instantânea muito pequena, e é dado por aproximação pelo módulo tangente inicial. Geralmente é de 20 a 40 % mais alto que o módulo de elasticidade estático. É utilizado para avaliar estruturas sujeitas a terremotos e impactos. Pode ser obtido com maior precisão por ensaio ultrassônico (YAMAN *et al.*, 2001).

Silva (2006) justifica que o módulo de elasticidade é uma expressão da rigidez da argamassa no estado endurecido, proporcionado pelo cimento hidratado, dependente da relação água/cimento e da disposição/espacos entre as partículas dos agregados devido à forma, à rugosidade dos grãos e teor de material pulverulento. O autor constatou que à medida que aumenta a relação cal/cimento, diminui a densidade de massa causada pelo aumento do teor de cal, que produz um aumento no consumo de água. Esta água excedente na mistura não hidrata com o cimento, não participa das reações químicas com os componentes da cal, o que promove o aumento do índice de vazios e a queda do módulo de elasticidade.

4.3.8 Análise de propensão à fissuração

De acordo com Gomes (1995), existe uma correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tração na flexão das argamassas, apontando para a propensão à fissuração das mesmas em função dos valores obtidos (CSTB, 1982) conforme reproduzido na tabela 7.

Tabela 7 - Análise de propensão à fissuração.

Propriedade	Baixa Fissurabilidade	Média Fissurabilidade	Alta Fissurabilidade
E_d - Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	$E_d \leq 7000$	$7000 \leq E_d \leq 12000$	$E_d \geq 12000$
$\Delta l / l$ - Retração (mm/m)	$\Delta l / l < 0,7$	$0,7 < \Delta l / l < 1,2$	$\Delta l / l > 1,2$
E_d / f_t	$E_d / f_t \leq 2500$	$2500 < E_d / f_t < 3500$	$E_d / f_t > 3500$

Fonte: CSTB, 1982 apud Gomes, 1995.

Para Peña (2004) quanto maior a resistência à tração, maior a capacidade do material resistir às solicitações de tração impostas pela estrutura do substrato, logo, isto exige um interesse especial de melhorar a tração das argamassas, podendo reduzir o fator a/c e/ou colocar polímeros para este fim.

Este autor destaca que o módulo de elasticidade não pode ser muito alto porque pode resultar em estruturas muito rígidas, não permitindo a acomodação/deformações necessárias a este tipo de elementos construtivo.

O módulo de elasticidade corresponde a rigidez da argamassa no estado endurecido, proporcionado pelo cimento hidratado, dependente da relação água/cimento e da disposição dos espaços entre as partículas dos agregados devido à forma, à rugosidade dos grãos e teor de material pulverulento (SILVA, 2006).

5 REVISÃO SOBRE AS METODOLOGIAS DE DOSAGEM DE ARGAMASSA

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Dosar uma argamassa é estudar e estabelecer (de acordo com o uso e formas de aplicação) o traço ou proporções dos materiais constituintes da mistura (essas proporções podem ser expressas em massa ou volume). Uma metodologia de dosagem de argamassas eficiente é aquela que visa minimizar os erros provenientes de um traço inadequado e produz uma argamassa de maior qualidade e durabilidade, e deve se basear em conceitos e propriedades técnico-científicas adequadas e bem fundamentadas.

A fim de embasar os estudos seguintes, neste capítulo se faz uma revisão bibliográfica das metodologias existentes e fundamentos comportamentais que podem nortear uma dosagem de argamassa.

5.2 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE SELMO (1989)

O princípio do Método de dosagem de Selmo (1989) consiste em dosar o teor ótimo de material plastificante, ou seja, finos, que seriam provenientes da cal ou de outra adição mineral como o saibro, o filito ou pó calcário.

É um método experimental e consiste em montar curvas de correlação entre os teores de areia + plastificante versus cimento. Nesta metodologia, quanto mais baixas as curvas, mais ricos são os traços, ao passo que, quanto mais altas, mais pobres e porosos eles serão.

O procedimento de dosagem consiste em se encontrar experimentalmente a mínima quantidade de material fino capaz de plastificar a argamassa (necessita de experiência) e a mínima quantidade de água necessária para dar a fluidez adequada, garantindo a obtenção de argamassas trabalháveis. A partir disto, elabora-se pelo menos três traços de modo a obter pelo menos três pontos da curva dos gráficos de trabalhabilidade: “E” versus “finos plastificantes/cimento” e “E” versus água/cimento

Retiram-se então dos gráficos os teores mínimos de plastificante e de água necessários para cada relação (areia+plastificante) /cimento, segundo os materiais disponíveis. Ressalta-se que o teor de finos varia em função da natureza e as características do material empregado como plastificante: cal, argila ou filer calcário, além de ser influenciado também pelas características da areia (vide figura 4).

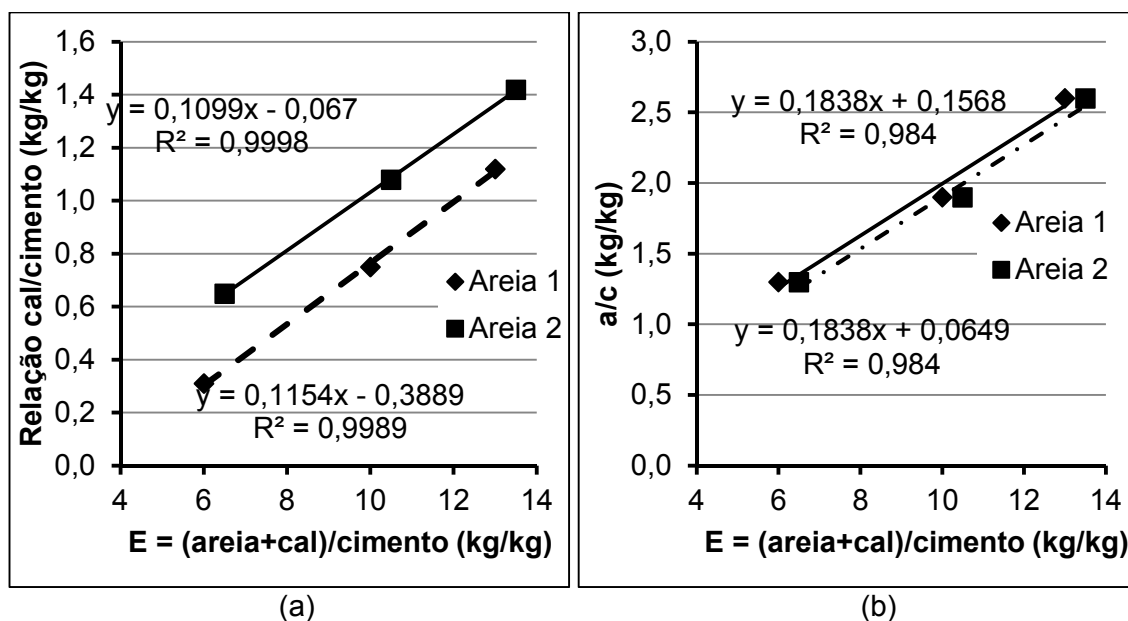


Figura 4 – Gráfico de relação entre “E” e relação de aglomerantes e fator a/c.
Fonte: adaptado de SELMO (1989)

O autor destaca que se deve aplicar as argamassas em painéis de no mínimo 2 m², com as mesmas condições da obra: tipo e preparo do substrato, condições climáticas, equipamentos de mistura e aplicação, etc. Ele ressalta que durante a aplicação, deve-se avaliar a facilidade de mistura, a trabalhabilidade (exsudação, adesão inicial, facilidade de aplicação, coesão) e o tempo necessário para sarrafear e desempenar a argamassa.

Após a cura da argamassa, deve-se verificar a existência de fissuras, a textura superficial, a aderência (resistência e tipo de ruptura), resistência superficial, permeabilidade, absorção de água, custo/benefício (consumo de materiais, rendimento e índice de perdas).

O método é bem interessante e traz preceitos bem proveitosos para este trabalho, contudo, apresenta pouco da resistência e durabilidade das

argamassas e necessita de profissional qualificado e de boa estrutura para realizar a dosagem e de um tempo considerável para execução da mesma.

O método tem que ser atualizado do modo a atender a normalização atual para as argamassas e revestimentos. Ressalta-se sua grande praticidade, uma vez que é possível atualizá-lo facilmente.

5.3 DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND E CAL PARA REVESTIMENTOS EXTERNOS DE FACHADA DOS EDÍFÍCIOS, SELMO E HELENE (1991)

Este método é uma “evolução” do método de dosagem de Selmo (1989) e consiste em dosar o teor ótimo de material plastificante, ou seja, finos, que seriam provenientes da cal ou de outra adição mineral como o saibro, o filito ou pó calcário, conforme as relações: agregado + cal/cimento e areia/finos de modo a caracterizar medidas das propriedades no estado fresco (consistência) e/ou no estado endurecido (resistência à compressão, tração por compressão diametral e aderência) de modo a identificar o traço mais adequado ao uso nos devidos locais, levando em consideração ambos os conceitos.

É um método experimental e consiste em montar curvas de correlação entre os teores de materiais envolvidos no processo e, além disso, tem como argumento a avaliação das propriedades das argamassas, logo, se mostra mais adequado à realidade das construções, embora também precise ser atualizado.

5.4 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE LARA *et al.* (1995)

O Método de dosagem de Lara *et al.* (1995) se baseia nos seguintes fatores: traço unitário (relação 1:m), teor limite de finos por m³ (< 0,074 mm), no consumo de água (retirado do gráfico m x consumo de água l/m³), para argamassas mistas de cimento: cal: areia, aditivadas ou não. A seguir é apresentada uma síntese deste método de dosagem de argamassas mistas, conforme exposto pelos autores:

- primeiramente define-se o traço básico, sendo: chapisco (1:2 a 1:4); revestimento interno (1:8 a 1:12) e externo (1:5 a 1:8) e assentamento (1:8 a 1:12). Ressalta-se que a relação corresponde a cimento e (cal+areia). Quanto mais resistente se precisar da argamassa menor deve ser a relação. Ressalta-se que os autores apresentam que para se definir a quantidade de agregado pode-se basear nos traços sugeridos ou na experiência do construtor.
- num segundo momento, especifica-se o teor máximo de finos (cimento + cal + finos da areia) em função da aderência desejada, sendo alta = 550 kg de finos / m³ de argamassa; média = 500 kg de finos / m³ de argamassa e baixa = 450 kg de finos / m³ de argamassa.
- no terceiro passo, escolhe-se o tipo de areia (Módulo de Finura – MF) em função do processo de aplicação do revestimento interno (1,60 < MF < 2,00), externo (1,80 < MF < 2,20) e/ou contrapiso (2,20 < MF < 2,60);
- segue-se com a definição da consistência através da mesa de espalhamento, sendo adotada para revestimento (300 ± 15 mm) e para piso (180 ± 10 mm);
- é indicado que se pode adotar os valores médios das variáveis da dosagem: massa específica real do cimento (γ_{rc}) = 3,15 kg/dm³, massa específica real da cal (γ_{rca}) (alta em cálcio = 2,30 kg/dm³; dolomítica altamente hidratada = 2,50 kg/dm³ ou dolomítica normal = 2,80 kg/dm³), massa específica real da areia (γ_{ra}) = 2,60 kg/dm³, massa específica real da água (γ_r) = 1,00 kg/dm³, massa unitária do cimento (γ_{rc}) = 1,40 kg/dm³, massa unitária da cal (γ_{rca}) = 0,50 kg/dm³, massa unitária da areia seca (γ_{ra}) = 1,50 kg/dm³, teor de material pulverulento da areia lavada = 3%
- inicia-se o cálculo do traço com a estimativa do consumo de água, adotando-se como consistência o valor de (300±15) mm. O consumo de água a ser utilizado nas argamassas mistas de cimento e cal, em litros, é o apresentado na tabela 19.
- o cálculo do fator água/cimento pode ser obtido pela expressão da equação 1:

$$a/c = C_{\text{água}} \frac{\frac{\text{cimento}}{\gamma_{rc}} + \frac{\text{areia}}{\gamma_{ra}}}{1000 - C_{\text{água}}} \quad (1)$$

Onde: a/c = fator água cimento;
 $C_{\text{água}}$ = consumo de água;

cimento = proporção de cimento;

areia = proporção de areia.

- o consumo de cimento é obtido pela razão entre o consumo de água obtido na Tabela 8 pelo fator a/c .

Tabela 8 – Consumo de água (l/m^3) em função do traço básico e do tipo de aglomerante.

TRAÇO (EM PESO)	CAL	FILLER	SAIBRO
1 : 4	330	340	360
1 : 5	334	344	364
1 : 6	338	348	368
1 : 7	342	352	372
1 : 8	346	356	376
1 : 9	350	360	380
1 : 10	354	364	384
1 : 11	358	368	388
1 : 12	362	372	382

Fonte: LARA *et al.*, 1995.

- pode-se encontrar o consumo de areia inicial multiplicando o consumo de cimento pela correlação inicial de areia presente no traço básico;
- O cálculo do teor de cal é obtido pela multiplicação dos finos faltantes (*finos da aderência*) – (*finos do cimento + finos da areia*) pela razão entre a massa específica real da cal e da areia.

O método de dosagem é interessante e bem prático, contudo exige que o tecnólogo já possua experiência no assunto para executar a mesma. Já se identificaram alguns problemas na metodologia, cujo consumo de água não atende à consistência especificada e não é feita nenhuma referência à resistência e a durabilidade destas argamassas produzidas.

5.5 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE CARNEIRO e CINCOTTO (1999)

Este método se baseia na adequação da curva granulométrica do agregado miúdo para aumento da eficiência das argamassas. O autor constatou que, variando a granulometria do agregado, podia-se aumentar o teor de finos inertes em substituição ao cimento sem o aumento do teor de água.

A metodologia consiste em obter curvas granulométricas para as argamassas sob a utilização do cálculo matemático do somatório de uma progressão geométrica de diâmetros ($S_n = A(1 - P_r^n)/(1 - P_r)$), sendo **A** o primeiro passo do somatório, correspondente à quantidade de material retido na peneira de abertura máxima, logo abaixo da peneira de abertura máxima característica; **P_r** é a razão entre os retidos em cada peneira, sendo que nunca poderá ser igual a 1 e; **n** é o número de peneiras da série adotada que pode ser as séries de peneiras normal com razão de abertura da malha 1,19 e a principal, com a razão de abertura da malha 1,41 da ABNT NBR ISO 3310:2010 ou ainda a série da ABNT NBR 7211:2009 da razão de abertura de malha 2,0.

Para desenvolver elaboram-se três traços e estudam-se os ajustes através da fixação de algumas razões, como por exemplo, materiais finos/grossos buscando proporções nas quais **P_r** estejam acima de 0,7.

A partir da formulação teórica das curvas granulométricas obtêm-se as relações aglomerantes/agregados, considerando-se como aglomerante toda a fração de material passante na # 200 (0,075 mm) e como agregado as frações de material retido calculado nas peneiras acima e inclusive a # 200. A determinação dos traços em massa pode ser obtida por álgebra elementar, através das proporções dos materiais nas curvas granulométricas.

Os resultados apresentados pelos autores se mostraram pertinentes, o que evidencia a eficiência do processo de dosagem. Ressalta-se que outros estudos são importantes para verificar a repetitividade dos resultados.

5.6 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE GOMES E NEVES (2002)

Este método se baseia no uso de plastificantes à base de argilas (materiais da região de Salvador – caulim e arenoso) e tem como parâmetros normativos básicos o teor máximo de finos (< 0,075 mm) do agregado de 7%; a máxima relação entre adição plastificante e total de agregado de 35%; consumo de cimento especificado em projeto (vide tabela 9) e características da argamassa no estado fresco (índice de consistência (*flow table*) de 260±10 mm, teor de ar incorporado entre 8% e 17% e retenção de água superior a 75%).

Tabela 9 – Consumo de cimento por m³ de argamassa de acordo com local de aplicação da argamassa (kg).

Tipos de argamassa	Uso ou aplicação	
	Interno	Externo
Assentamento de blocos	150-180	160-190
Chapisco (sem adição)	380-430	410-470
Emboço	160-180	180-210
Reboco	160-170	170-190
Camada única	160-180	180-210
Base para cerâmica	180-210	190-220
Base para laminado	210-240	-
Assentamento	250-350	250-350

Fonte: GOMES E NEVES (2002)

O consumo de água, segundo o autor, varia muito de uma região para outra e em relação aos materiais e teores destes nas argamassas, sendo necessário avaliá-lo em laboratório. Indica-se como primeira estimativa o valor de 285 l/m³ de argamassa. O autor descreve em seu trabalho que a metodologia permite obter traços de argamassas de boa qualidade e de alta durabilidade.

5.7 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS EM REDE SIMPLEX

A metodologia SIMPLEX corresponde a um modelamento matemático que permite obter um conjunto de traços que norteiam as características desejadas, seja no estado fresco (consistência) ou no estado endurecido (resistências, durabilidade).

São vários os modelamentos e a quantidade de traços amostrais necessários. Ressalta-se que o modelamento permite obter os traços margeadores do traço que realmente se deseja, sendo que a obtenção final deste traço se dá de forma experimental, com a moldagem de um número de traços exigidos conforme a precisão necessária para os mesmos.

Destefani e Holanda (2011) utilizaram este processo experimental em rede simplex no estudo de aproveitamento/incorporação de resíduos de rochas ornamentais com filler para obtenção de máxima compacidade. Estes identificaram grande eficiência do método que permitiu compreender toda a gama de opções para os materiais envolvidos e permitiu ainda identificar qual o melhor proporcionamento para o caso em questão.

Percebeu-se ainda que os resultados são expressos, em alguns casos, para todo o espaço amostral o que pode incorrer em erros devido à variações expressivas das propriedades dos compósitos cimentícios, em relação a grande diferença entre os elementos constituintes (ativos \neq inertes, graúdos \neq finos, sólidos \neq líquidos, entre outros).

5.8 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS PARA A DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

Segundo Isaia (2010) a ABNT NBR 7200:1982 em vigor até 1998 apresentava alguns traços de acordo com o local de aplicação (Figura 6). Contudo a partir desta data a nova versão, ABNT NBR 7200:1998 não apresenta mais proposições de traços, deixando a cargo dos pesquisadores e tecnologistas o desenvolvimento da dosagem destes compósitos.

Tipo de argamassa		Traço em volume			Referências
		cimento	cal	areia	
Revestimento de paredes interno e de fachada		1	2	9 a 11	NBR 7200 (ABNT, 1982)*
Assentamento de alvenaria estrutural	Alvenaria em contato com o solo	1	0 -1/4	2,25 a 3 x (volumes de cimento + cal)	ASTM C 270
	Alv. sujeita a esforços de flexão	1	1/2		
	Uso geral, sem contato com solo	1	1		
	Uso restrito, interno/baixa resist.	1	2		

* Norma antiga: a versão atual 1998 não apresenta proporções de traços.

Figura 6 – Traços em função do uso da argamassa.
Fonte: ISAIA (2010)

6 MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Objetivando desenvolver uma metodologia de dosagem de argamassa de revestimento de paredes, tetos e pisos; e argamassas de assentamento de alvenaria de vedação e estrutural, neste capítulo serão abordadas as metodologias e os materiais que nortearão esta pesquisa, de modo a desenvolver a técnica proposta e validá-la de forma técnica e científica.

O programa experimental está dividido em duas partes: desenvolvimento da metodologia de dosagem, com a realização de alguns ensaios e coleta de dados em trabalhos técnico-científicos; e validação da metodologia, com ensaios de caracterização destas argamassas (assentamento de alvenaria e revestimento) segundo a programa experimental proposto.

6.2 MATERIAIS

6.2.1 Cimento, Cal e Água

Empregou-se o Cimento Portland do tipo CP II-E-32, fabricado pela HOLCIM do Brasil S.A e Cal Hidratada Especial Aditivada tipo CHI – MASSICAL, fabricada pela ICAL Ltda. A água utilizada foi da rede de distribuição de Belo Horizonte (MG).

6.2.2 Agregado

Foram implementados dois tipos de argamassa: uma para assentamento de alvenaria estrutural (agregado miúdo natural quartzoso – zona utilizável superior e dois traços para argamassa de revestimento de reboco (um com agregado miúdo natural quartzoso – zona utilizável inferior; e outro com

agregado artificial de britagem de gnaiss – zona utilizável inferior, ambos provenientes do comércio da região metropolitana de Belo Horizonte.

O ensaios de Difração de Raios-X e Eflorescência de Raios-X apresentam como compostos minerais para o agregado natural do reboco: quartzo (SiO_2 ; trigonal) de forma abundante, ortoclásio ($\text{Na}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Al}_{1.2}\text{Si}_{2.8}\text{O}_8$; triclinico) com percentual médio-baixo, albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; triclinico) com índice baixo, caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; monoclinico) com teor baixo, ferro-hornblenda ($\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}_4\text{Al}_{0.75}\text{Fe}^{3+}_{0.25}(\text{Si}_7\text{AlO}_{22})(\text{OH})_2$; monoclinico) baixo, goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$, ortorrômbico) baixo-traço.

O agregado miúdo artificial apresentou nos ensaios de Difração de Raios-X e Eflorescência de Raios-X os composto minerais: Oligoclásio (feldspato: $\text{Na}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Al}_{1.2}\text{Si}_{2.8}\text{O}_8$; triclinico) de forma abundante, quartzo (SiO_2 ; trigonal) com percentual médio, Ferro-hornblenda (anfíbólio: $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}_4\text{Al}_{0.75}\text{Fe}^{3+}_{0.25}(\text{Si}_7\text{AlO}_{22})(\text{OH})_2$; monoclinico) com percentual médio-baixo, biotita (mica: $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.75}\text{F}_{0.25}$; monoclinico) com percentual médio-baixo; chamosita (clorita: $\text{Fe}^{2+}_3\text{Mg}_{1.5}\text{AlFe}^{3+}_{0.5}\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_8$; monoclinico) com teor baixo.

Optou-se por colocar os gráficos e tabelas de caracterização dentro de processo de dosagem nos resultados para otimizar as análises.

6.3 MÉTODO

A fim de se obter argamassas com aplicações em assentamentos de alvenaria de vedação e estrutural e revestimento de paredes e tetos, efetuou-se um proporcionamento de materiais (segundo metodologia proposta – capítulo 7) baseado em uma consistência (260 ± 5 mm), avaliada através da mesa de espalhamento (*flow table*), adotadas em função da trabalhabilidade desejada no canteiro de obras e conservando-se a mistura coesa e sem segregação.

O programa experimental foi dividido em duas etapas principais:

- **1 etapa** - foram avaliadas as propriedades das argamassas em vários trabalhos técnicos-científicos e principalmente em revisão bibliográfica. A partir desta pesquisa se desenvolveu uma metodologia de dosagem de

argamassa experimental de modo a obter argamassas para uso em assentamentos de alvenaria e revestimentos de paredes.

➤ **2ª etapa** - foi desenvolvida a validação da metodologia proposta, bem como a apresentação de suas limitações detectadas nesta fase. Esta etapa é composta por duas partes, a saber:

- validação da metodologia para obtenção de uma argamassa de assentamento de alvenaria estrutural, com a restrição em torno de 70% da resistência do bloco ($f_{bk} = 16$ MPa), o que geraria um argamassa em torno de 11 MPa de resistência à compressão;
- validação da metodologia para uma argamassa de revestimento de reboco, utilizando dois tipos de agregado miúdo (natural e artificial) e visando atender alguns limites definidos em função do uso de argamassa de revestimento reboco externo conforme normalização própria.

Para avaliar as propriedades tecnológicas das argamassas obtidas através do emprego da metodologia proposta são descritos, a seguir, os ensaios que foram realizados (vide tabela 10).

Tabela 10 - Resumo dos ensaios realizados no programa experimental.

ENSAIO	IDADE (dias)	Nº CPs
Consistência – ABNT NBR 13276:2005.	0	3
Densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa fresca – ABNT NBR 13.278:2005.	0	3
Densidade de massa no estado endurecido – ABNT NBR 13280:1995.	28	3
Resistência à tração na flexão – ABNT NBR 13279:2005.	7-14-28	3
Resistência à compressão axial – ABNT NBR 13279:2005.	7-14-28	6
Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas – ABNT NM 58:1996.	28	4
Módulo de elasticidade dinâmico pelo aparelho de ultrassom – ABNT NBR 15630:2009.	28	4
Resistência Potencial de aderência à tração – ABNT NBR 13528:2010.	28	3
Absorção de água por imersão ABNT NBR 9778:2009.	28	4
Absorção de água por capilaridade ABNT NBR 15259:2005.	28	4
Porosidade ABNT NM 45:2006.	28	4
Imagem por lupa estereoscópica e Microscópio óptico	28	1

Os ensaios foram definidos em função das exigências normativas para estes tipos de argamassa e local de exposição. Foram confeccionados corpos de prova por idade, de acordo com as exigências normativas de cada ensaio.

Foi realizada a análise dos resultados, primeiramente com teste de Normalidade para verificar se os dados se aproximavam da curva normal, seguido por análise estatística básica (média, desvio padrão, variância e erro padrão), de modo a validar os resultados de acordo com os padrões normativos; teste de significância das propriedades e das curvas de correlação (ANOVA e Teste t) de modo a garantir a confiabilidade dos resultados de 95%. Os resultados são expostos como média \pm erro padrão. Estes procedimentos foram norteados pelas bibliografias: Hoffmann e Vieira 1977, Mingoti (2005), Vieira (2008), Montgomery e Runger (2014), Myers Ye (2009) e Action (2014). A seguir são detalhadas as propriedades analisadas.

6.3.1 Consistência

Para avaliar a consistência das argamassas realizaram-se os procedimentos da ABNT NBR 13276:2005 através da mesa de espalhamento (*flow table*).

Ressalta-se que, para argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, é indicada uma consistência de 260 \pm 10 mm, assim, este procedimento permite obter a quantidade de água para as condições de uso em revestimento.

6.3.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco.

O ensaio de densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa fresca é determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme prescreve a ABNT NBR 13278: 2005. O valor da densidade de massa pode ser obtido pela equação 5.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \quad (5)$$

Onde: d – densidade de massa da argamassa no estado fresco (g/cm^3);
 m_c – massa do recipiente contendo a argamassa de ensaio (g);
 m_v – massa do recipiente cilíndrico vazio (g);
 V_r – volume do recipiente cilíndrico (cm^3).

O valor do teor de ar incorporado pode ser obtido pela equação 6.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (6)$$

Onde: A – teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco (%);
 d – densidade de massa da argamassa no estado fresco (g/cm^3);
 d_t – densidade de massa teórica da argamassa (g/cm^3).

Para se obter a densidade de massa teórica adota-se a equação 7.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (7)$$

Onde: d_t – densidade de massa teórica da argamassa (g/cm^3);
 m_i – massa de cada componente da argamassa (g);
 γ_i – massa específica de cada componente da argamassa (g);

6.3.3 Densidade de massa no estado endurecido.

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido está prescrito na norma ABNT NBR 13280:2005.

6.3.4 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão é avaliada de acordo com a norma brasileira da ABNT NBR 13.279:2005 e a europeia EN 1015-11:1993. O equipamento utilizado foi a prensa da Contenco de carga máxima de 20 toneladas força e precisão de 1 kgf, sendo a execução nas idades: 14, 28 e 85 dias. A resistência à tração na flexão pode ser obtida utilizando-se a Equação 8.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (8)$$

Onde: R_f – resistência à tração na flexão (MPa);

F_f – força máxima obtida no ensaio (N);

L – distância entre os suportes (mm).

6.3.5 Resistência à compressão

O ensaio para determinação da resistência à compressão (f_c) está prescrito na ABNT NBR 13.279:2005. O equipamento utilizado foi a prensa da Contenco de carga máxima de 20 toneladas força e precisão de 1 kgf, sendo a execução nas idades: 14, 28 e 85 dias. A resistência à compressão pode ser obtida pela Equação 9.

$$f_c = \frac{A}{F} \quad (9)$$

Onde: f_c – resistência à compressão axial (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

A – área da seção transversal do corpo de prova (mm²).

6.3.6 Módulo de Elasticidade Dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foi determinado pelo método ultrassônico utilizando a Equação 10, de acordo com a norma BS-1881 Part 203 e ABNT NM 58: 1996, utilizando o equipamento TICO da PROCEQ com frequência de 54 kHz.

$$E_d = \gamma \cdot V^2 \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad (10)$$

Onde: E_d = módulo de elasticidade dinâmico

γ = densidade de massa no estado endurecido (em kg/m³);

V = velocidade com que a onda ultrassônica percorre o corpo de prova no sentido longitudinal (em km/s);

ν = coeficiente de Poisson

A velocidade de propagação de ondas é determinada pela equação 11.

$$V = \frac{L}{t} \quad (11)$$

Onde: V – velocidade de propagação (km/s);

L – distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores (km);

t – tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção (s).

6.3.7 Resistência potencial de aderência à tração

Realizou-se o ensaio para determinar a resistência potencial de aderência à tração da argamassa, segundo a ABNT NBR 13.528:2010. A Resistência de aderência à tração é obtida pela Equação 12.

$$R_a = \frac{P}{A} \quad (12)$$

Onde: R_a = resistência de aderência à tração, em MPa;

P = carga de ruptura, em N;

A = área da pastilha, em mm².

6.3.8 Ensaio de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Realizou-se o ensaio de absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade segundo a ABNT NBR 15.259:2005. A absorção de água por capilaridade é expressa em g/cm² e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo de prova em contato com a água, de acordo com a Equação 13.

$$A_c = \frac{A-B}{S} \times 100 \quad (13)$$

Onde: A_c – absorção de água por capilaridade (%);

A – massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água (g);

B – massa do corpo-de-prova seco (g);

S – área da seção transversal (cm²).

O coeficiente de capilaridade pode ser obtido pela equação 14.

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (14)$$

Onde: C = coeficiente de capilaridade, em $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

m_{90} = massa dos corpos de prova a 90 minutos

m_{10} = massa dos corpos de prova a 10 minutos

6.3.9 Ensaio de absorção de água por imersão e porosidade

O ensaio de absorção de água por imersão representa a capacidade máxima da argamassa de absorver água e é descrito pela ABNT NBR 9778:2009. Pode-se obter o valor da absorção por imersão pela equação 15.

$$A_i = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100 \quad (15)$$

Onde: A_i – absorção de água por imersão (%);

M_{sat} – massa do corpo de prova que ficou imerso em água (g) com superfície seca;

M_{seca} – massa do corpo de prova seco (g);

Utilizou-se o procedimento de medir a quantidade da água absorvida no corpo de prova descrito pela ABNT NM 45: 2006 para definir a porosidade das argamassas. Pode-se obter o valor da porosidade pela equação 16.

$$P = \frac{M_{sat} - M_{seco}}{M_{seco} - M_{sub}} \quad (16)$$

Onde: P – Porosidade (%);

M_{seca} – massa do corpo-de-prova seco (g);

M_{sat} – massa do corpo de-prova úmido com superfície seca(g);

M_{sub} – massa do corpo de prova submerso em água (g);

6.3.10 Análise de microestrutura por lupa estereoscópica e microscópio óptico

As análises por lupa estereoscópica e microscópio óptico permitiram avaliar visualmente a distribuição de poros, a interface pasta agregado, entre outros. A partir disto pode-se inferir sobre a qualidade das argamassas produzidas.

7 PROPOSTA DE METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO DE ALVENARIA

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A metodologia de dosagem deve corresponder a um conjunto de atividades sequenciais e exequíveis, que permitam ao tecnologista de materiais obter ao final um proporcionamento, desenvolver testes experimentais e definir o traço mais adequado para um determinado fim desejado.

Neste sentido, este capítulo abordará/apresentará um conjunto de atividades, verificações e equações que permitirão obter o proporcionamento e, logo em seguida, identificar o traço adequado.

A metodologia proposta é composta por 7 etapas:

- 1ª etapa – Definição da quantidade de agregado no traço, obtido através de uma fórmula matemática;
- 2ª etapa – Definição da quantidade de água no traço, arbitrado inicialmente;
- 3ª etapa – Definição da quantidade de aglomerante no traço, que pode ser por pontos extremos ou pontos próximos;
- 4ª etapa - Ajuste experimental dos traços básicos;
- 5ª etapa - Definição das propriedades importantes para a argamassa, em função de condições normativas e do local de aplicação.
- 6ª etapa - Definição do traço ideal por análise dos gráficos gerados ou pelas equações de correlação;
- 7ª etapa – Encerramento da metodologia com a verificação do traço adequado.

7.2 ORGANOGRAMA ESQUEMÁTICO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Foi proposto um organograma esquemático (Figura 7), de modo a apresentar a sequência das atividades durante o processo e dosagem pela metodologia proposta.

Acredita-se que o organograma sintetiza a operacionalização do método proposto, e também que esta metodologia permite obter argamassas de boa qualidade e de acordo com os materiais, locais de uso e padrões normativos.

7.3 PARÂMETROS CONDICIONANTES

Para se conseguir compósitos cimentícios de boa qualidade, deve-se conhecer as propriedades/características de cada material que os compõem. Assim, para esta técnica, indica-se o conhecimento de algumas propriedades dos materiais, tais como:

- massa específica real e unitária (solta e compacta) – serão necessárias nas conversões e no dimensionamento dos traços;
- granulometria completa do(s) agregado(s) miúdos(s), incluindo curva granulométrica, diâmetro máximo, módulo de finura e teor de material pulverulento – imprescindível para o início deste método de dosagem;
- condições ambientais exigidas para a argamassa de interesse – delimitam a inserção ou não de cal, resistências e durabilidade exigidas para os locais de uso;
- condições normativas que devem ser atendidas – ABNT NBR 13281:2005 – delimitam os parâmetros que as argamassas devem seguir, de modo a atender as prescrições normativas para determinadas condições de uso;
- laboratório que permita simular as condições do local de aplicação da argamassa com a possibilidade de verificação em pequena escala das características das argamassas antes da aplicação no canteiro de obra;
- se o processo de dosagem for realizado no canteiro de obras, este deve conter pelo menos os equipamentos e mão de obra capacitada para avaliar as propriedades exigidas no método e assim fazer todo o processo de dosagem.

7.4 DOSAGEM

7.4.1 Quantidade de agregado no traço

A escolha do agregado no traço se dá a partir da análise da curva granulométrica e principalmente das massas específicas unitárias compactas e reais.

O objetivo é encontrar traços nos quais se conheça o coeficiente de vazios deixados pelo agregado, de modo que possam ser preenchidos por cimento, cal e água e, até mesmo definir um percentual de poros (teor de ar incorporado) desejável para a argamassa.

O princípio desta parte consiste em definir a quantidade de vazios (percentualmente) existente quando se coloca o agregado de forma compacta (condição que se aproxima do agregado dentro da argamassa para traços consagrados na bibliografia: Baía e Sabbatini (2008); Bastos (2001); Cincotto, Silva e Cascudo (1995); Freitas (2010); Isaia (2010); Santos (2011); Silva (2006); e Souza, (2010)) para o ensaio de massa específica unitária.

Ressalta-se que é importante analisar os traços quanto aos limites destes elementos plastificantes nos compósitos, vide item 7.4.4, pois estes podem causar retração e reduzindo a vida útil destes materiais.

Propõe-se, para encontrar o consumo percentual de agregado na mistura, a adoção da equação 20, que é obtida através do conceito do coeficiente de vazios, conforme procedimentos descritos pelas equações de 16 à 19:

$$c_{vazios} = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \left(1 - \frac{V_s}{V_t}\right) \cdot 100 \quad (16)$$

Considerando:

$$V_s = \gamma_r \cdot m \quad (17)$$

$$V_t = \gamma_u \cdot m \quad (18)$$

Tem-se:

$$c_{vazios} = \left(1 - \frac{\gamma_u}{\gamma_r}\right) \cdot 100 \quad (19)$$

O consumo percentual de areia corresponde ao volume total (100%) menos o coeficiente de vazios, conforme equação 20.

$$C_{areia} = 100 - \left[\left(1 - \frac{\gamma_u}{\gamma_r} \right) \cdot 100 \right] \quad (20)$$

Onde: C_{areia} = teor de agregados miúdos no traço, em %;

γ_u = massa específica unitária compacta do agregado miúdo, em g/cm³;

γ_r = massa específica real do agregado miúdo, em g/cm³.

c_{vazios} = coeficiente de vazios, em %.

V_s = volume de sólidos, em litros.

V_t = volume total, em litros.

V_v = volume de vazios, em litros.

A tabela 11 apresenta alguns traços usuais, segundo algumas bibliografias.

Tabela 11 – Traços básicos em volume e percentual encontrados na bibliografia e amplamente utilizados no mercado.

Designação	Cimento	Cal	Areia	Água	Total
Traço 1 SANTOS (2011)	1 14,33%	0,5 7,16%	4,5 64,47%	0,98 14,04%	6,98 100,00%
Traço 2 ISAIA (2007)	1 10,75%	1 10,75%	6 64,52%	1,3 13,98%	9,3 100,00%
Traço 3 ISAIA (2007)	1 7,04%	2 14,08%	9 63,38%	2,2 15,49%	14,2 100,00%
Traço 4 ISAIA (2007)	1 5,35%	3 16,04%	12 64,17%	2,7 14,44%	18,7 100,00%
Traço 5 SANTOS (2011) ASTM C 270: 2003	1 13,16%	1 13,16%	4,5 59,21%	1,1 14,47%	7,6 100,00%

Fonte: Adaptado de ISAIA (2007), SANTOS (2011) e ASTM C 270: 2003

Com o objetivo de verificar a capacidade de implantação da equação 20, foram montadas várias curvas granulométricas (vide APÊNDICE 1). Constata-se que os valores encontrados são muito próximos aos encontrados atualmente na bibliografia (aproximadamente 64%, vide tabela 22) para areias convencionais que estão localizadas entre as curvas granulométricas que foram avaliadas, e

que a maioria dos traços possui uma relação aglomerante/agregado de 1:3 (em volume).

Percebe-se assim, que esta metodologia tende a apropriar cientificamente algumas colocações cotidianas da construção civil, tais como: manter fixa a relação agregado/aglomerante igual a 3, granulometrias uniformes (mesmo tamanho) exigem mais aglomerantes e são pouco coesivas (principalmente partículas maiores) e argamassas de reboco (uso de areia fina – passante na peneira 1,2 mm) exige a colocação de mais cimento, seja pelo aumento da área específica (exige maior consumo de água) e agora também devido ao maior coeficiente de vazios.

Com esta técnica, a especificação da quantidade de componentes deixa de ser arbitrada, por exemplo 1/3 (aglomerante/agregado) e passa a ser uma forma de se encontrar a quantidade em função do tipo de agregado a ser empregado, bastando somente conhecer sua massa específica unitária seca compacta e a real.

Ressalta-se que a granulometria é imprescindível nesta etapa, de modo a garantir o uso das argamassas, seja devido às condições de acabamento superficial, seja devido ao diâmetro máximo admitido em função da espessura do revestimento ou da junta de assentamento no caso da assentamento de alvenaria.

Pode-se afirmar ainda, que a presença de material pulverulento na areia pode causar efeitos positivos na massa específica unitária compacta, logo, no consumo de agregado e aglomerante, demonstrando que estes não só ajudam na plasticidade e coesão da mistura, mas também promovem maior fechamento de poros, convergindo para uma estrutura mais durável.

7.4.2 Quantidade de água no traço

A definição final do consumo de água deve ser feita pelo ensaio de consistência, conforme a opção de uso do traço de argamassa (seca, plástica, fluida). Indica-se o ensaio da mesa de espalhamento (*flow table*), cujos procedimentos são descritos pela ABNT NBR 13276: 2005 para as argamassas de revestimento e assentamento. Esta é uma técnica com procedimentos

simples e rápidos de determinação, e o equipamento é relativamente barato e com pouca manutenção.

Nesta fase, indica-se uma previsão do consumo de água pela análise da Tabela 11. (Pág. 77), na qual pode-se perceber um percentual de água em torno de 14%. Ressalta-se que foram feitas análises em outros trabalhos (BAÍÁ e SABBATINI, 2008; BASTOS, 2001; CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995; FREITAS, 2010; ISAIA 2010; SANTOS, 2011; SILVA, 2007; e SOUZA, 2010) e em outros traços, e constatou-se que o percentual de água ficava em 15 ± 5 % do total de materiais. Logo se propõe adotar, quando não se tiver outros referenciais ou necessidades, para começar o cálculo, o valor de 15%, considerando uma consistência de 260 ± 10 mm. Salienta-se que a água deve ser colocada aos poucos, conforme o ajuste do traço à consistência desejada.

Indicam-se ensaios prévios com os materiais para a definição da consistência adequada para operacionalização dos profissionais, e assim buscar correlações com o teor de água. Deste modo a definição inicial da água se tornará mais exata e de acordo com o local de aplicação e habilidades do profissional.

Ressalta-se que a fixação de parâmetros para a definição da quantidade de água não pode levar em conta somente a consistência, mas também a coesão, a distribuição granulométrica e a relação aglomerante/agregado que podem alterar as propriedades do traço no estado fresco. Além disso, dependendo do tipo de argamassa a mesa de espalhamento pode não ser a melhor opção. Por exemplo, tem-se como procedimentos mais eficientes para argamassas mais secas (penetração de cone, SOUZA e LARA, 2007) ou muito fluidas (cone de escoamento, SOUZA e LARA, 2007).

Destaca-se que em torno de 23 a 25% da massa de cimento (MEHTA e MONTEIRO (2008), terá uma quantidade de água que reagirá com o cimento e o restante evaporará deixando poros, alguns dos quais permitirão a percolação do CO_2 para a carbonatação da cal, sendo preenchidos, e alguns permanecerão abertos, podendo reduzir a vida útil das argamassas e permitir a percolação de água. Assim, indica-se a verificação da possibilidade da inserção de aditivos plastificantes o que deve ser feito de forma experimental, ajustando ao aditivo e a quantidade de água para a consistência desejada.

É importante destacar que as argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, necessitam de um percentual de poros que permitirão sua deformabilidade, e com isto sua solidarização ao substrato, distribuindo esforços, sendo dispensável o uso de plastificante. Em alguns casos, como argamassas de revestimento de pisos de alta resistência ou mesmo de revestimento de paredes em presídios ou armada, necessitam maior resistência e durabilidade, logo, a inserção do aditivo com função plastificante se torna bem interessante, assim como adições minerais.

7.4.3 Quantidade de aglomerante no traço

Conhecido o consumo de areia, a diferença ($100 - C_{areia}$) corresponde à quantidade de vazios deixados pelo agregado. Estes podem ser preenchidos pelo cimento, cal, aditivos, adições e ar (poros - teor de ar incorporado). A determinação do aglomerante no traço pode ser feita pela equação 21.

$$C_{aglomerante} = C_{cimento} + C_{cal} = 100 - (C_{areia} + q + p + A + C_{\acute{a}gua}) \quad (21)$$

Onde: $C_{aglomerante}$ = consumo de aglomerante no traço, em %;

$C_{cimento}$ = consumo de cimento no traço, em %;

C_{cal} = consumo de cal no traço, em %;

C_{areia} = consumo de areia no traço, em %;

q = aditivos, em % - definido de forma experimental durante o ajuste do traço;

p = adições, em % - definido de forma experimental durante o ajuste do traço;

$C_{\acute{a}gua}$ = consumo de água no traço, em % - adotando-se inicialmente 15%;

A = teor de ar incorporado no traço, em % - indica-se adotar 0% para início dos cálculos;

Percebe-se que a equação 21 ainda trata somente do termo aglomerante sem discriminar cada um. Este detalhamento pode ser feito, novamente, pela análise dos trabalhos (BAÍA e SABBATINI, 2008; BASTOS, 2001; CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995; FREITAS, 2010; ISAIA 2010; SANTOS, 2011; SILVA, 2007; e SOUZA, 2010), nos quais se percebe que o percentual mínimo de cada aglomerante utilizado (para o caso de argamassas de revestimento e assentamento de uso corrente) é de 5%. Deste modo, tem-se o valor do mínimo e do máximo de aglomerante em função de cada agregado. A

partir deste ponto a análise fica em função do detalhamento/precisão exigidos pelo tecnologista e/ou pela obra em questão.

7.4.3.1 Determinação do consumo de aglomerante através de pontos extremos

Caso não seja necessária grande precisão e os tipos de argamassa sejam bem amplos, indica-se a estruturação de três traços, considerando o mínimo, médio e máximo dos valores indicados. A tabela 12 ilustra esta condição.

Estes traços são bastante distintos e com características bem divergentes, logo, a precisão do método é relativamente baixa. É indicado para condições nas quais o profissional não tem a ideia dos traços que deseja e não tem experiência suficiente para admitir alguns traços, sendo indicada como primeira aproximação dos traços. Para as demais condições, que são maioria, esta condição não é interessante.

Tabela 12 – Dosagem de argamassa com aglomerantes determinados por pontos extremos.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %	Total %
Traço 1	5	Z	C _{areia}	15%	100%
Traço 2	$(Z + 5) / 2$	$(Z + 5) / 2$	C _{areia}	15%	100%
Traço 3	Z	5	C _{areia}	15%	100%

* Adotando $Z = 100 - C_{areia} - 5 - 15$

7.4.3.2 Determinação do consumo de aglomerante através de pontos próximos

Caso o tecnologista não tenha ideia inicial do traço, mas conheça as condições da obra e de alguns proporcionamentos, ele pode propor limites mais próximos. Tem-se como exemplo:

- precisa-se de argamassas mais resistentes, logo, pode-se partir do ponto médio aumentando o consumo de cimento, ou ainda, de um ponto com maior consumo de cimento e dividindo-o em pelo menos em três pontos distintos até o consumo máximo dado por $Z = 100 - C_{areia} - 5 - 15$ (vide tabela 13).

- precisam-se de argamassas menos resistentes, logo, pode-se partir do ponto médio diminuindo o consumo de cimento, ou ainda, de um ponto com menor consumo de cimento e dividindo-o em pelo menos em três pontos distintos até o consumo mínimo de 5 % (vide tabela 14).

Tabela 13 – Dosagem de argamassa mais pobre com aglomerante determinada por pontos próximos.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %	Total %
Traço 1	$(Z + 5) / 2$	$(Z + 5) / 2$	C_{areia}	15%	100%
Traço 2	$(3Z + 5) / 4$	$(Z + 15) / 4$	C_{areia}	15%	100%
Traço 3	Z	5	C_{areia}	15%	100%

* Adotando $Z = 100 - C_{\text{areia}} - 5 - 15$

Tabela 14 – Dosagem de argamassa mais rica com aglomerante determinada por pontos próximos.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %	Total %
Traço 1	5	Z	C_{areia}	15%	100%
Traço 2	$(Z + 15) / 4$	$(3Z + 5) / 4$	C_{areia}	15%	100%
Traço 3	$(Z + 5) / 2$	$(Z + 5) / 2$	C_{areia}	15%	100%

* Adotando $Z = 100 - C_{\text{areia}} - 5 - 15$

Estes traços são próximos, logo, a interpolação para encontrar o traço mais adequado se torna mais eficiente. O que se pode ressaltar é que é necessária certa experiência ao utilizar esta técnica para se definir de que ponto partir. Outra ressalva deve ser feita ao fato de se escolher mais de três pontos, sendo este o mínimo para se conhecer o comportamento deste traço. Destaca-se que quanto maior o número de pontos utilizados, melhor a curva de ajuste e, conseqüentemente, a análise.

Este procedimento é indicado a obras e empresas de forma geral para a confecção de argamassas mistas de revestimento e assentamento de alvenaria, que precisam conhecer alguns traços dentro dos limites das propriedades estipuladas.

7.4.4 Ajuste experimental dos traços

As etapas anteriores permitem que se obtenha pelo menos três traços de argamassa expressos em porcentagem do volume total de materiais. Estes traços devem ser ajustados de forma experimental, verificando a consistência e, se necessário, acertando a quantidade de água e dos demais materiais na mistura.

Devem ser observadas:

- exsudação e/ou falta de coesão no material, que pode ser indício de que a quantidade de aglomerante está insuficiente (energia de compactação muito elevada, agregado com percentual de partículas de diâmetro maior muito grande e/ou granulometria uniforme), sendo necessário o incremento do aglomerante ou adaptações no agregado com a inserção de finos;
- coesão excessiva, ou seja, a argamassa fica aderida à colher de pedreiro, mesmo umedecida, sendo neste caso indicado acrescentar agregado à mistura e/ou reduzir o teor de finos do agregado;
- argamassa muito áspera é um indício de que a granulometria da areia possui várias partículas de dimensões maiores ou ainda um fator forma desfavorável (grãos aciculares e alongados). Caso seja um emboço (argamassa em duas camadas), um contrapiso ou ainda, alguns casos de assentamento de alvenaria (verificar a relação entre a dimensão máxima do agregado e a espessura da junta) podem ser aceitos, caso contrário, deve-se fazer o peneiramento do material retirando a graduação indesejável e refazer todo o processo de dosagem;
- nesta fase pode-se fazer ajustes com a inserção de adições e aditivos, de modo a tornar a argamassa mais densa e resistente, ou mesmo incorporar ar, torná-la expansiva para o caso de encunhamento de alvenaria. Indicam-se aditivos plastificantes (super e hiper) e adições como microssílica, metacaulim, para obtenção de argamassas de alta resistência, se for necessário. Estas são inseridas no traço e seus percentuais são calculados em relação ao total da mistura.

7.4.5 Definição das propriedades e montagem dos corpos de prova

As argamassas possuem um grande número de propriedades que têm maior ou menor relevância em função do local de uso e de especificações normativas, vide item 4.3 deste trabalho. No caso de argamassas de revestimento e assentamentos de alvenaria, foco principal deste trabalho, podem-se elencar algumas de grande importância:

- no estado fresco: consistência, coesão e retenção de água, que garantirão a trabalhabilidade necessária durante o processo de aplicação e acabamento;
- no estado endurecido: resistência à tração na flexão e potencial de aderência à tração e à compressão, que indicam a capacidade resistente do material, além das propriedades que são indicadores de durabilidade, como porosidade e absorção.

O tecnologista deve conhecer as condições da obra e qual a expectativa para a argamassa a ser dosada e especificar aquelas propriedades que representam melhor a condição específica da obra em questão. Indicam-se as propriedades: resistência à tração na flexão e por compressão, consistência e coesão como mínimas a serem consideradas no planejamento da argamassa, visto que estas são propriedades básicas e, qualquer que seja a condição, seus resultados são extremamente relevantes. Ressalta-se que consistência e coesão já fazem parte do processo de dosagem, logo, devem ser executadas sempre.

Após serem escolhidas as propriedades, deve-se buscar quais as idades a serem analisadas. Muitos estudos (BAÍA e SABBATINI, 2008; BASTOS, 2001; CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995; FREITAS, 2010; ISAIA 2010; SANTOS, 2011; SILVA, 2007; e SOUZA, 2010), demonstram que para o uso de cimento CII-E-32, com 14 dias já se obtém cerca de 70% a 80 % da resistência final, e se for CP V, tem-se em 7 dias estes valores, podendo assim fazer correlações, e em alguns dias ter os traços definidos. Para casos mais conservadores (a favor da segurança), indica-se a idade de referência de 28 dias, que é o convencional para compósitos cimentícios. Ressalta-se que as cales apresentam variações nas suas propriedades em idades avançadas, devido a sua carbonatação, logo, pode-se avaliar idades maiores como 80 e 120 dias. Para a definição do traço ideal basta uma idade, contudo, o tecnologista pode fazer outras verificações para identificar sua evolução ao longo do tempo.

Com as idades definidas, moldam-se os corpos de prova, segundo a normalização específica de cada propriedade, e ensaiam-se na(s) data(s) definida(s).

As argamassa de assentamento e revestimento devem atender a uma condição de dosagem dada pela equação 22:

$$F_d = F_k \pm t_{\frac{\alpha}{z} n-1} \cdot S \quad (22)$$

Onde: F_d corresponde ao limite de dosagem de uma determinada propriedade da argamassa;

F_k corresponde ao limite característico de uma determinada propriedade da argamassa;

$t_{\frac{\alpha}{z} n-1}$ corresponde a um valor tabelado (Distribuição t) para um nível de significância de 5% (confiabilidade de 95%) e grau de liberdade ($n-1$);

“ S ” é o desvio padrão da amostra avaliado através de regressão linear entre a propriedade (eixo das ordenadas – y) e os constituintes dos materiais em porcentagem de volume (eixo das abscissas – x);

“ n ” número de amostras.

7.4.6 Definição do traço ideal

A definição do traço ideal pode ser feita de duas formas: gráfica e matemática.

7.4.6.1 Determinação do traço ideal a partir de uma análise gráfica

A forma gráfica de obtenção do traço adequado, consiste na montagem de gráficos correlacionando as propriedades com os elementos do traço e a partir de limites definidos de acordo com a normalização para o local de uso.

Ressalta-se que é preciso utilizar os traços ajustados. Assim pode ser que os percentuais dos materiais sejam um pouco diferentes do início da dosagem. Além disso, é indicado que se tenha pelo menos três propriedades e, busque-se o traço que atenda aos limites exigidos para as três. A tabela 15 apresenta um exemplo de ajuste possível para três traços idealizados. Estes

dados foram estruturados nos Gráficos 1, 2 e 3, por exemplo: $f_c \geq 8$ MPa; $f_t \geq 0,5$ MPa e $A_d \geq 0,3$ MPa.

Tabela 15 – Traço ajustado – exemplo para definição do traço ideal.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %	f_c MPa	f_t MPa	A_d Mpa
Traço 1	10,0	10,0	64,3	13,5	3,20	0,32	0,28
Traço 2	12,5	7,5	64,7	14,0	4,50	0,45	0,47
Traço 3	15,0	5,0	65,0	15,0	9,60	0,96	0,92

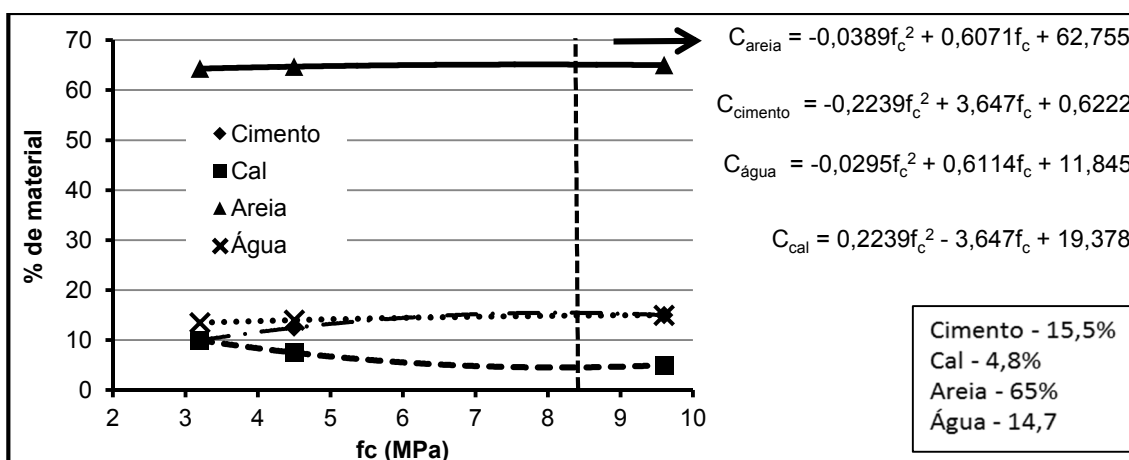


Gráfico 1 – Consumo de material em função da resistência à compressão (f_c) – exemplo.

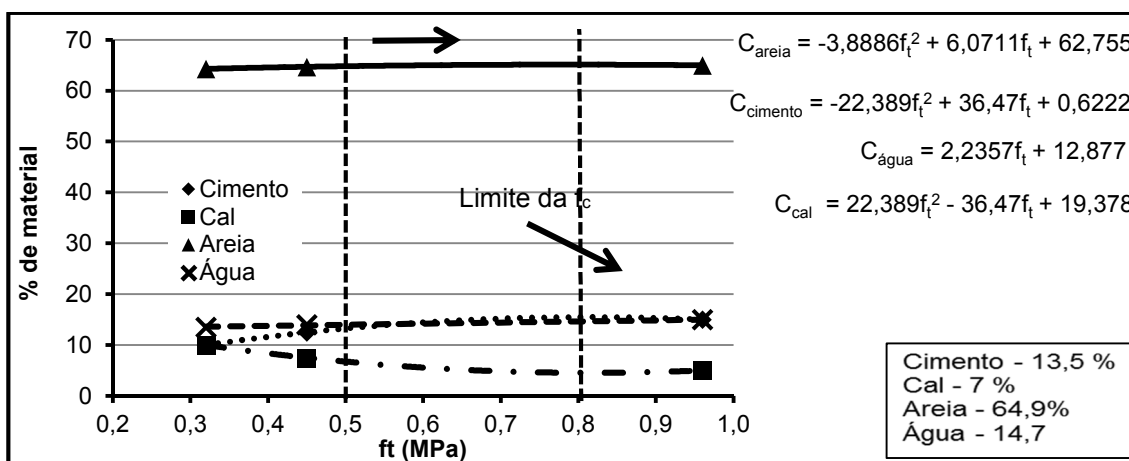


Gráfico 2 – Consumo de material em função da resistência à tração na flexão (f_t) – exemplo.

Analisando os gráficos de 1 a 3 e tabela 15, percebe-se que os limites indicados convergem para traços diferentes. Contudo, é possível constatar que alguns traços podem atender a todas as propriedades. Neste sentido, observa-se que o traço encontrado para f_c é o que tem menor resistência para esta

propriedade, porém apresenta valores superiores aos mínimos estipulados para as demais. Logo, é o traço ideal para esta condição de uso.

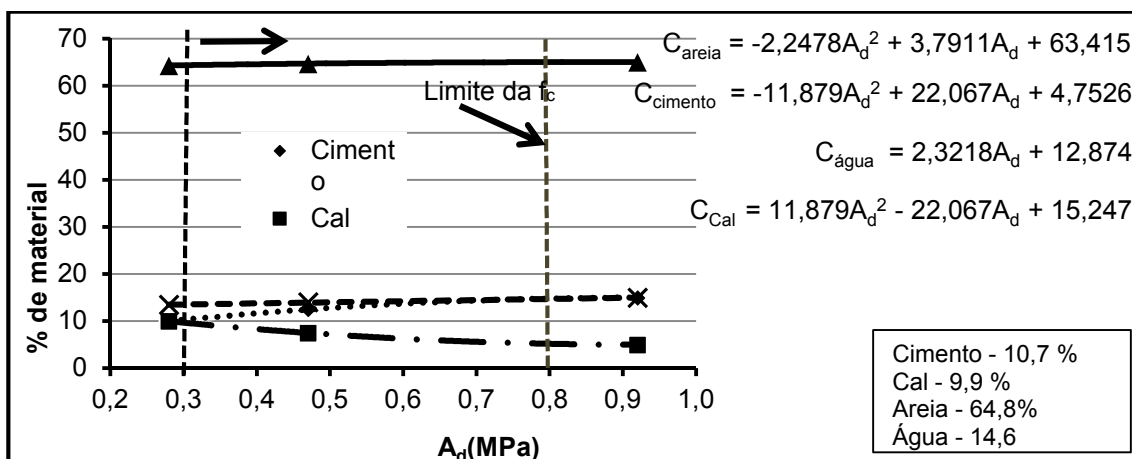


Gráfico 3 – Consumo de material em função da resistência potencial de aderência à tração (A_d) – exemplo.

Diante dos gráficos de 1 a 3 e da tabela 15, pode-se encontrar o traço ideal, em porcentagem, neste exemplo, como: 15,5 : 4,8 : 65,0 : 14,7. Dividindo todos pelo consumo de cimento, tem-se traço em volume: 1,000 : 0,310 : 4,193 : 0,948 e em massa, por exemplo (considerando massa unitária compacta (γ_u) de 1,64 kg/l e massa específica real (γ_r) de 2,59 kg/l para a areia, cimento com γ_u de 1,50 kg/l e a cal com γ_u de 0,5 kg/l): 1,000 : 0,103 : 4,585 : 0,632.

Este procedimento é rápido e prático, contudo, pode promover erros devido às leituras das interseções das curvas. Assim sendo, é indicado verificar se a soma dos elementos é igual a 100%. Caso afirmativo indica que a leitura foi bem feita, caso negativo, deve-se revisar as leituras.

7.4.6.2 Determinação do traço ideal a partir de uma análise matemática

Para se fazer a determinação do traço ideal através de análise matemática, deve-se utilizar as equações de aproximação obtidas nos gráficos de correlação entre cada propriedade e o percentual de materiais, através de linha de tendência na planilha eletrônica.

Utilizam-se, como exemplo, os dados da tabela 15 e dos gráficos de 1 à 3. Nestes, tem-se as equações que correlacionam cada material com a propriedade analisada. Os resultados da aplicação destas correlações podem ser vistos nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Traços obtidos pelas equações dos gráficos 1 a 3 – exemplo.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %
Traço - f_c	15,5	4,5	65,1	14,7
Traço - f_t	13,3	6,7	64,8	14,0
Traço - A_d	10,3	9,7	64,4	13,6

Tabela 17 – Resultados encontrados para as propriedades - exemplo.

Designação	Cimento %	Cal %	Areia %	Água %	f_c MPa	f_t MPa	A_d Mpa
Traço - f_c	15,5	4,5	65,1	14,7	8,0	0,8	0,8
Traço - f_t	13,3	6,7	64,8	14,0	≈5,0 *	0,5	≈0,5 *
Traço - A_d	10,3	9,7	64,4	13,6	≈3,0 *	≈0,3 *	0,3

* Não atendem a todos os valores mínimos estipulados pelas propriedades exigidas

Percebe-se que o traço obtido pela resistência à compressão, para este exemplo, atendeu melhor a todas as propriedades, sendo o escolhido. Ressalta-se que outras condições podem aparecer, sendo o princípio básico a ser definido que se deve encontrar o (s) traço (s) que atenda(m) a todas as propriedades estipuladas, conforme a obra.

Os modelos matemáticos trazem erros na sua conformação devido ao modelamento matemático de aproximação dos valores. Como resultado, tem-se que a soma dos elementos podem não chegar a 100%. Para reduzi-los, indica-se definir o erro e acrescentá-lo a cada valor de forma ponderada. Fazendo isto, tem-se o resultado final para o traço ideal de 15,50 : 4,54 : 65,26 : 14,70. Dividindo todos pelo consumo de cimento, tem-se traço em volume: 1,000 : 0,293 : 4,230 : 0,948 e em massa (considerando, por exemplo, massa unitária compacta (γ_u) de 1,64 kg/l e massa específica real (γ_r) de 2,59 kg/l para a areia, cimento com γ_u de 1,50 kg/l e a cal com γ_u de 0,5 kg/l): 1,000 : 0,098 : 4,603 : 0,632.

Este procedimento é mais técnico-científico com respostas mais exatas e rápidas se for montada uma planilha de cálculo com os parâmetros a serem

considerados, bastando somente variar os agregados e as propriedades para que sejam gerados resultados diferentes.

7.4.6.3 Ajuste Final do Traço Ideal

O processo se encerra com a(s) apresentação(ões) do(s) traço(s), nas versões que foram pedidas (massa, volume, porcentagem, por m³, por saco de cimento). Indica-se a confecção de uma amostra para verificar a quantidade de água através do ensaio de consistência (vide item 7.3.2).

Indica-se a moldagem de corpos de prova com o traço final para verificação das propriedades antes do uso maximizado na obra. Se todos os parâmetros no estado fresco e endurecido estiverem fechados o processo terminou. Caso contrário, verificar algum possível erro durante o processo de dosagem e refazer toda dosagem ou parte dela.

8 RESULTADOS

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo corresponde à aplicação da metodologia proposta a três estudos de casos, que se referem a confecção de três argamassas, sendo uma para assentamento de alvenaria estrutural e outras duas, com agregado natural e artificial, e aplicação em revestimento de reboco externo.

Objetivando melhor expor estes dados, este capítulo foi dividido em três partes, conforme sua função.

- na primeira são apresentados os resultados e análises obtidos segundo o processo de dosagem de um traço real para uso como argamassa de assentamento de alvenaria estrutural;
- na segunda, são apresentados os resultados e análises obtidos segundo o processo de dosagem para traços reais para uso em revestimento de reboco externo com uso de areia natural e artificial;
- e na terceira, apresentam-se os resultados e análises obtidos para os traços ao longo de 3 idades e ensaios complementares de modo a avaliar a qualidade destes compósitos.

Ressalta-se que a primeira e segunda partes têm o intuito de validar a metodologia proposta, comprovando sua exequibilidade e confiabilidade dos resultados. Na terceira parte objetiva-se fazer análises paralelas de propriedades e da evolução das argamassas ao longo do tempo, e assim avaliar sua qualidade.

Destaca-se, que foi realizada a análise dos resultados primeiramente através de testes de Normalidade para verificar se os dados se aproximavam da curva normal; seguida por análise estatística básica: média, desvio padrão, variância e erro padrão, de modo a validar os resultados de acordo com os padrões normativos; teste de significância das propriedades e das curvas de correlação: ANOVA e Teste t de modo a garantir a confiabilidade dos resultados de 95%. Os resultados são expostos como média \pm erro padrão.

8.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL – SEGUNDO O PROCESSO DE DOSAGEM

8.2.1 Definição de parâmetros dos materiais e das condições de uso

8.2.1.1 Materiais

Para esta etapa, utilizou-se agregado miúdo natural quartzoso na zona utilizável superior (vide Tabela 18 e Gráfico 4), provenientes do comércio de Belo Horizonte. Foi utilizada somente a porção do agregado passante na peneira de 4,8 mm, o que se convencionou ser suficiente para atender a espessura de 10 mm da junta de assentamento.

Tabela 18 – Características físicas da Areia Natural (AN) – dosagem de argamassa de alvenaria estrutural.

Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248: 2003)	
PENEIRA – Abertura (mm)	% Retida Acumulada
4,8	0
2,4	4
1,2	47
0,6	74
0,3	92
0,15	95
<0,15	100
Diâmetro máximo	2,4 mm
Módulo de finura	3,11
Massa específica real (ABNT NBR NM 52: 2009)	2,577 kg/dm ³
Massa específica unitária solta (ABNT NBR NM 45: 2006)	1,439 kg/dm ³
Massa específica unitária compacta (ABNT NBR NM 45: 2006)	1,581 kg/dm ³
Teor de argila (NBR 7218/2010)	Isento
Teor de material pulverulento (ABNT NBR NM 46/2001)	2,68%
Impureza orgânica (ABNT NBR NM 49:2001)	<300p.p.m.
Absorção de água (ABNT NBR NM 30: 2000)	2,17%
Forma dos Grãos	Arredondado

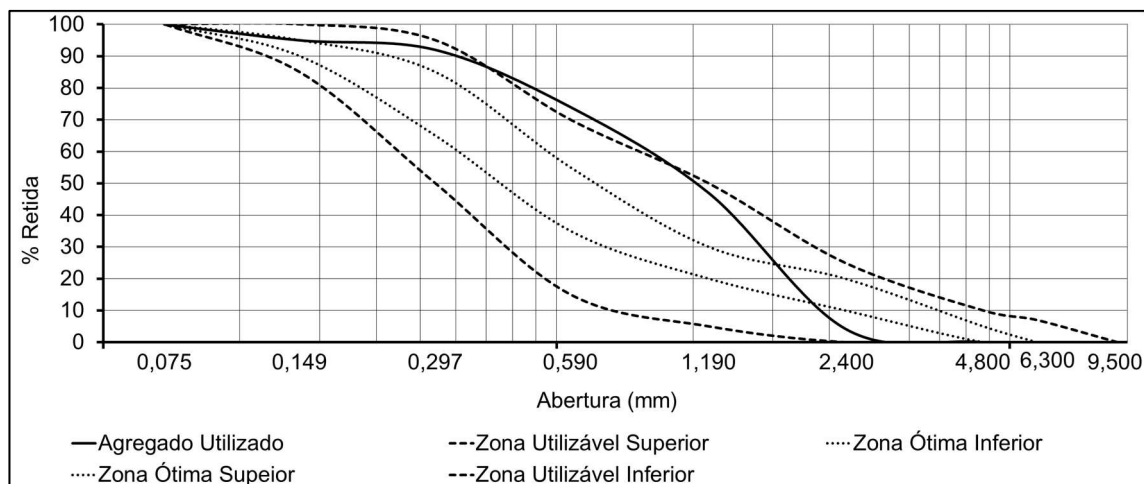


Gráfico 4 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural para a dosagem argamassa de alvenaria estrutural.

Utilizou-se o cimento CP-II-E-32 e Cal Hidratada Tipo I – CHI.

8.2.1.2 Condicionantes do uso

A argamassa seria utilizada para assentamento de alvenaria estrutural. Segundo recomendações normativas (ABNT NBR 15961: 2011) a resistência da argamassa deve estar em torno de 70% da resistência do bloco. Adotou-se um bloco com f_{bk} de 16 MPa, convergindo para uma argamassa com 11,2 MPa em média.

Neste caso será simulada uma condição de laboratório na qual se necessita de argamassa com valor médio associado a um intervalo de confiança bilateral para uma determinada idade, sendo esta 14 dias.

8.2.2 Consumo de areia

Conforme observado na Tabela 18 as massas específicas real e unitária compacta, 2,577 kg/l e 1,581 kg/l, respectivamente. Adotando-se a equação 20, obteve-se um consumo de areia de 61,45 %.

8.2.3 Consumo de água

As argamassas de assentamento de alvenaria estrutural, geralmente necessitam de maior resistência à compressão, devido a cargas nas paredes e; coesão, de modo a garantir a solidarizarão entre os bloco. Assim, optou-se por partir de um fator água/cimento mais baixo, adotando-se 14% para início do cálculo, o que converge para um maior consumo de aglomerante, logo, o atendimento aos preceitos iniciais.

Ressalta-se que a areia utilizada é mais grossa, exigindo maior teor de aglomerante para promover uma coesão aceitável, logo, este percentual inicial tende a atender bem a estes parâmetros.

8.2.4 Consumo de Aglomerante

Para definir o traço ideal, adotou-se o processo de pontos próximos, partindo do ponto médio para traços mais fortes (maior consumo de cimento), vide a tabela 19.

Tabela 19 – Traços básicos para argamassa para alvenaria estrutural.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Porcentagem (%)	1	9,55	15,00	61,45	14,00
	2	14,55	10,00	61,45	14,00
	3	17,05	7,50	61,45	14,00
Volume (l)	1	1,000	1,570	6,432	1,466
	2	1,000	0,687	4,222	0,962
	3	1,000	0,440	3,603	0,821
Massa (kg)	1	1,000	0,462	5,962	0,862
	2	1,000	0,202	3,913	0,566
	3	1,000	0,129	3,340	0,483

Destaca-se que para transformar os traços de volume para massa foram utilizados os valores de massa específica real e unitária do cimento (3,1 kg/l e 1,70 kg/l) e da cal (2,8 kg/l e 0,50 kg/l), respectivamente, fornecidos pelo fabricante.

8.2.5 Ajuste do traço

O traço foi ajustado, buscando a consistência de 260 ± 10 mm, sendo necessário o incremento de água para atender a condição. Percebeu-se que os traços apresentaram boa coesão, avaliada conforme item 7.4.4, estando adequados para o uso como argamassa de assentamento. Com os ajustes, os traços se alteraram um pouco, conforme se observa na Tabela 20.

Tabela 20 – Traços básicos ajustados – argamassa para alvenaria estrutural.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Massa (kg)	1	1,000	0,462	5,962	0,988
	2	1,000	0,202	3,913	0,688
	3	1,000	0,129	3,340	0,533
Volume (l)	1	1,000	1,571	6,433	1,680
	2	1,000	0,687	4,222	1,170
	3	1,000	0,439	3,604	0,906
Porcentagem (%)	1	9,36	14,70	60,21	15,72
	2	14,13	9,70	59,65	16,52
	3	16,81	7,37	60,58	15,23

Percebe-se que os traços se alteraram um pouco, contudo a relação aglomerante/agregado (em volume) se mantém – 0,40. Para adquirir a consistência desejada, foi necessário aumentar (11%) a relação água/materiais secos de 0,16 para 0,18 em média.

8.2.6 Definição das propriedades

As argamassas de assentamento são regidas pela ABNT NBR 13281: 2005. Nestas, há alguns preceitos acerca do ensaio de compressão, que é feito com a metade do corpo de prova prismático restante do ensaio de tração na flexão. Deste modo, foram confeccionados três corpos de prova para cada idade: 7, 14 e 28 dias.

O ensaio de consistência foi realizado na mesa de espalhamento e a coesão foi avaliada item 7.4.4 (ajustes experimental dos traços).

8.2.7 Escolha do traço ideal

Esta argamassa de assentamento deve atender a uma condição de laboratório:

$$f_{dk} = 11,2 \pm t_{\frac{\alpha}{z} n-1} \cdot s \quad (22)$$

Onde: f_{dk} corresponde a resistência de dosagem da argamassa,
 $t_{\frac{\alpha}{z} n-1}$ corresponde a um valor tabelado (Distribuição t) para um nível de significância de 5% (confiabilidade de 95%) e grau de liberdade ($n-1$) e,
 “ s ” o desvio padrão da amostra avaliado através de regressão linear.

A partir da regressão linear validada pelo teste ANOVA (Tabela 21) que apresentou um valor de $f_o = 320,04$ maior que $f_{0,05;4,14} = 3,11$ e P -valor menor que o nível de significância de 0,05, tem-se como desvio padrão desta propriedade o valor de 0,695 MPa.

Tabela 21 – Teste ANOVA para regressão linear – argamassa para alvenaria estrutural.

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	f_o	<i>P valor</i>
Regressão	4	308,96	77,24	320,04	$4,45 \cdot 10^{-12}$
Resíduo	14	6,757	0,48		
Total	18	315,72			

Pelas regressões lineares, pode-se obter as curvas de correlação entre f_c em função dos consumos percentuais dos materiais, conforme expresso na equação 23:

$$f_c = 8,919 + 0,000 C_{cimento} - 1,407 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 1,070 C_{água} \quad (23)$$

Diante da equação 23, percebe-se que o consumo de cimento e consumo de areia não apresentaram variação significativa de modo a influenciar na regressão desta propriedade quando se avalia todos os parâmetros em conjunto.

Estruturou-se o intervalo de confiança para estes resultados, como $11,200 \pm 1,209$, sendo $t_{\frac{\alpha}{z} 18-4} = 1,740$, ou seja, com uma confiabilidade de 95% pode-se encontrar f_c entre 9,991 MPa e 12,409 MPa.

São apresentados na tabela 22 e no gráfico 5 os traços de acordo com a resistência à compressão, para a idade de análise - 14 dias.

Tabela 22 – Resultados de compressão e tração na flexão para os traços de argamassa para alvenaria estrutural.

	f_c (MPa)	Erro Padrão - f_c (MPa)	f_t (MPa)	Erro Padrão - f_t (MPa)
1º Traço	5,06	0,07	1,563	0,100
2º Traço	13,80	0,45	3,008	0,118
3º Traço	14,85	0,15	3,547	0,049

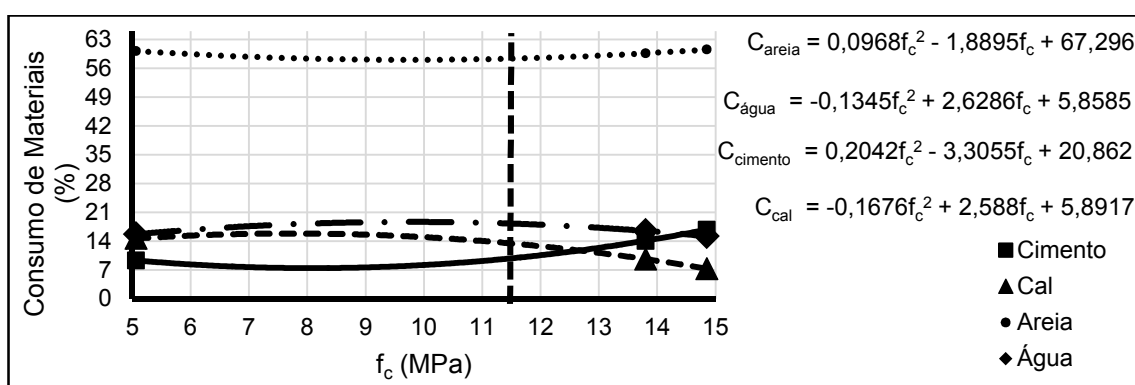


Gráfico 5 – Consumo de material em função da resistência à compressão (f_c) – 14 dias.

Pelo gráfico 5, pode-se obter as curvas de correlação entre f_c e cada consumo, conforme expresso nas equações de 24 a 27.

$$C_{\text{areia}} = 0,0968f_c^2 - 1,8895f_c + 67,296 \quad (24)$$

$$C_{\text{água}} = -0,1345f_c^2 + 2,6286f_c + 5,8585 \quad (25)$$

$$C_{\text{cimento}} = 0,2042f_c^2 - 3,3055f_c + 20,862 \quad (26)$$

$$C_{\text{cal}} = -0,1676f_c^2 + 2,588f_c + 5,8917 \quad (27)$$

Realizou-se o teste ANOVA para cada correlação realizada no gráfico 5, de modo a verificar a significância/dependência entre a propriedade e o consumo de material. A Tabela 23 mostra os resultados dos testes nas correlações.

Percebe-se que para a resistência à compressão da argamassa de assentamento de alvenaria estrutural a variação do consumo de areia e de água ($f_0 < f_{0,05;1,16}$) não foi significativa, ou seja, o nível de variação identificado não causou alterações significativas em f_c , o coeficiente angular entre os elementos tem valor próximo de zero.

Tabela 23 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para assentamento de alvenaria.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;1,16}$	Situação
$f_c \times C_{cim}$	Regressão	1	156,094	156,094	168,958	$6,41010 \cdot 10^{-10}$	4,49	*
	Resíduo	16	14,782	0,924				
	Total	17	241,66					
$f_c \times C_{cal}$	Regressão	1	169,879	169,879	432,523	$5,23310 \cdot 10^{-13}$	4,49	*
	Resíduo	16	6,284	0,393				
	Total	17	176,164					
$f_c \times C_{areia}$	Regressão	1	0,001	0,001	0,006	0,940	4,49	**
	Resíduo	16	2,630	0,164				
	Total	17	2,631					
$f_c \times C_{água}$	Regressão	1	0,008	0,008	0,025	0,877	4,49	**
	Resíduo	16	5,081	0,318				
	Total	17	5,088					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

O gráfico 6, através da correlação entre f_t e f_c que permite obter uma expectativa dos valores de uma propriedade em função da outra, de acordo com os resultados de cada traço encontrado. Deste modo, pode-se avaliar a resistência à tração na flexão para o traço adequado, conforme gráfico 7.

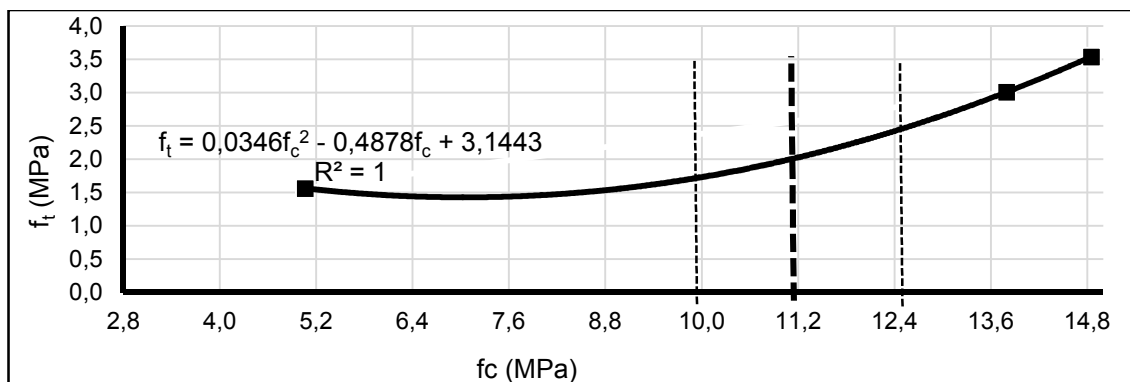


Gráfico 6 – Relação entre a resistência à tração na flexão (f_t) e a resistência à compressão (f_c) – 14 dias.

A partir da análise dos gráficos 6 e 7 é possível constatar que um intervalo de confiança para a resistência à tração na flexão está entre 1,754 MPa e 2,465 MPa.

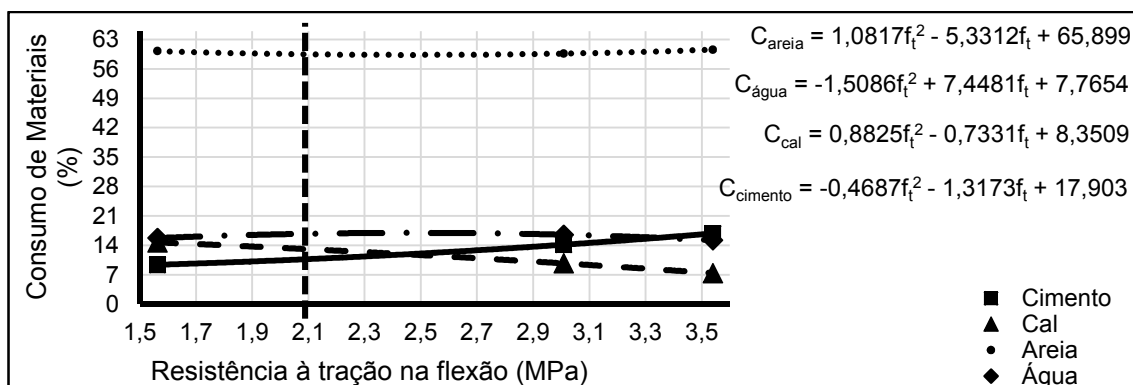


Gráfico 7 – Consumo de material em função da resistência a tração na flexão (f_t) – 14 dias.

8.2.8 Validação da metodologia

A validação da metodologia correspondeu à moldagem de corpos de prova de argamassa para ensaios de compressão e tração na flexão e comparação destes com os valores previstos. O resultado pode ser visto na Tabela 24 e gráficos 8 (a) e (b).

Tabela 24 – Resultados de compressão e tração na flexão para os traços de argamassa para alvenaria estrutural.

	f_c (MPa)	Erro Padrão - f_c (MPa)	f_t (MPa)	Erro Padrão - f_t (MPa)
Traço Ideal	11,22	0,02	2,063	0,063

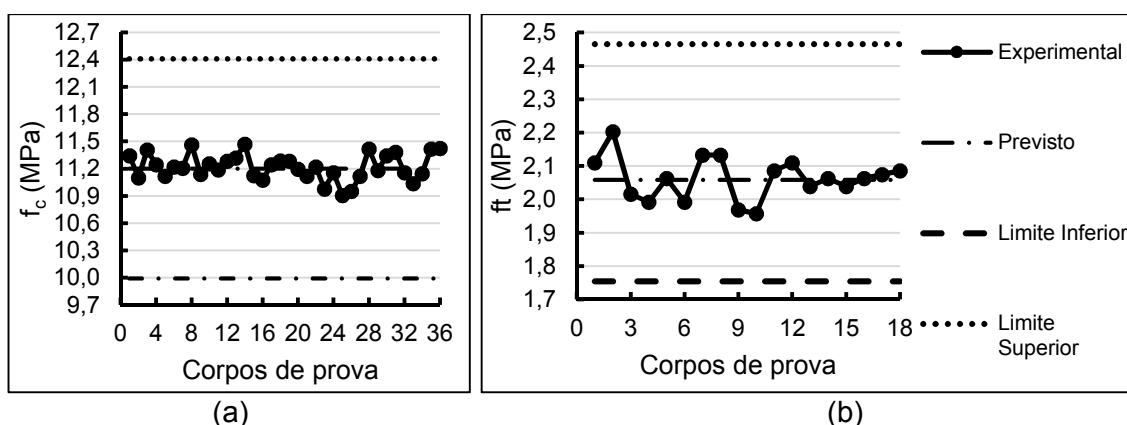


Gráfico 8 – Resultado da resistência à compressão (f_c) e à tração na flexão (f_t) aos 14 dias para o traço ideal para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural.

Percebe-se ao analisar a Tabela 24 e gráficos 8 (a) e (b) que os valores encontrados para os corpos de prova estão entre os limites do intervalo de

confiança, demonstrando que o processo de dosagem permite obter a argamassa desejada.

É perceptível que o número de corpos de prova utilizados na validação é bem superior ao estipulado pela norma. Optou-se por mais corpos de prova para se obter um número maior de amostras, de maneira a comprovar com segurança os procedimentos propostos. Além disso, foi realizado o teste de normalidade nestes resultados, de maneira a verificar se eles obedecem a uma distribuição normal, sendo comprovado. Logo, todos os valores e fatores de segurança adotados segundo a Distribuição t são válidos.

Avaliou-se, ainda, se os valores encontrados estavam dentro do intervalo de confiança, considerando uma confiabilidade de 95%. Nos dados avaliados, tanto os valores de f_c com f_t estavam dentro deste intervalo de confiança ($t_{encontrado} > t_{tabelado}$), demonstrando estatisticamente a representatividade da amostra quanto aos parâmetros avaliados.

8.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE REBOCO EXTERNO – SEGUNDO O PROCESSO DE DOSAGEM

8.3.1 Definição de parâmetros dos materiais e das condições de uso

8.3.1.1 Materiais

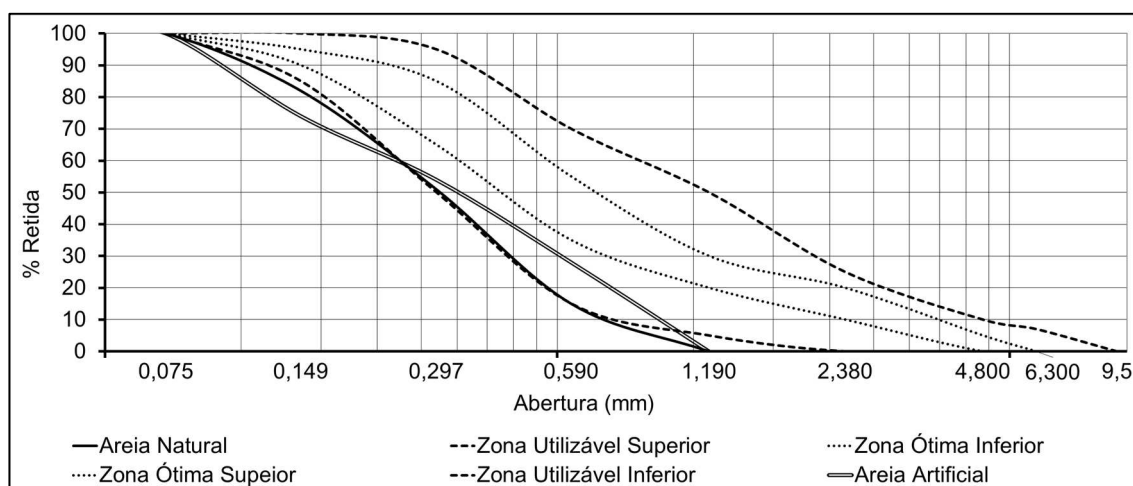
As areias para reboco foram definidas na zona utilizável inferior e com a limitação de diâmetro menor que 1,2 mm obtido por peneiramento (vide tabelas 25 e gráfico 9). Utilizou-se agregado miúdo natural quartzoso e artificial de gnaíse.

Optou-se por esta configuração em função de necessidade de se avaliar comparativamente as vantagens e/ou desvantagens do emprego da metodologia proposta para os materiais (agregados) mais utilizados no mercado atualmente.

Utilizou-se o cimento CP-II-E-32 e Cal Hidratada Tipo I – CHI.

Tabela 25 – Características físicas dos agregados miúdos – dosagem de reboco.

Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248: 2003)		
PENEIRA – Abertura (mm)	% Retida Acumulada	
	Areia Natural	Areia Artificial
4,8	0	0
2,4	0	0
1,2	0	0
0,6	15	28
0,3	51	54
0,15	82	74
<0,15	100	100
Diâmetro máximo	1,2 mm	1,2 mm
Módulo de finura	1,48	1,56
Massa específica real (ABNT NBR NM 52: 2009)	2,577	2,660
Massa específica unitária solta (ABNT NBR NM 45: 2006)	kg/dm ³ 1,291	kg/dm ³ 1,440
Massa específica unitária compacta (ABNT NBR NM 45: 2006)	kg/dm ³ 1,439	kg/dm ³ 1,656
Teor de argila (NBR 7218/2010)	kg/dm ³	kg/dm ³
Teor de material pulverulento (ABNT NBR NM 46/2001)	Isento	Isento
Impureza orgânica (ABNT NBR NM 49:2001)	4,70%	14,78%
Absorção de água (ABNT NBR NM 30: 2000)	<300p.p.m.	<300p.p.m.
Formas dos Grãos	2,68%	5,32%
	Arredondado	Anguloso

**Gráfico 9** – Curva granulométrica do agregado miúdo natural e artificial para dosagem de reboco.

8.3.1.2 Condicionantes do uso

A argamassa pesquisada nesta etapa visa à confecção de revestimento de reboco de uma parede externa. Segundo recomendações normativas (ABNT

NBR 13.281: 2005) e de ISAIA (2010) que esta argamassa deve atender pelo menos às características apresentadas na Tabela 26. São oito propriedades/condições que devem ser atendidas, logo, serão necessários oito gráficos de correlação para cada agregado utilizado.

Tabela 26 – Propriedades condicionantes para as argamassas de reboco.

Propriedades	Limite
Compressão – P4-P5-P6	$\geq 4,0$ MPa
Tração na flexão – R4-R5-R6	$\geq 2,0$ MPa
Tração por aderência – A3	$\geq 0,30$ MPa
Coefficiente de Capilaridade – C4-C5-C6	$\leq 7,0$ g/dm ² .min ^{1/2}
Consistência – <i>flow table</i>	= 260±10 mm
Densidade de massa no estado fresco – M4-C5-C6	≥ 1600 kg/l
Densidade de massa no estado endurecido – M4-M5-M6	≥ 1400 kg/l
Análise de propensão à fissuração - Baixa Fissurabilidade	$E_d \leq 7$ GPa e $E_d/f_t \leq 2500$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 13.281: 2005 e ISAIA (2010)

8.3.2 Consumo de areia

Conforme observado na tabela 25 as massas específicas real e unitária compacta da areia natural é 2,577 kg/l e 1,439 kg/l, respectivamente, e da areia artificial é de 2,660 kg/l e 1,656 kg/l, respectivamente. Adotando-se a equação 20, obteve-se um consumo de areia natural de 55,84 % e para areia artificial de 62,27%.

Estes valores são coerentes, uma vez que a areia artificial utilizada tem maior teor de material pulverulento, que preencheu os vazios, aumentando o consumo de agregado. Este resultado converge para um menor consumo de aglomerante, contudo, sem prejuízos das propriedades no estado fresco, devido aos finos de agregado, o que pode ajudar na plasticidade e na coesão.

8.3.3 Consumo de água

As argamassas de revestimento de reboco (camada revestimento dupla: emboço e reboco) estudadas necessitam de resistência mediana e boa coesão,

contudo, sem causar retração (ação do sol e camada muito fina – 5 mm). Assim, optou-se por partir de um fator a/c básico de 15% para início do cálculo.

Ressalta-se que as areias utilizadas são mais finas (MF's iguais a 1,48 (natural) e 1,56 (artificial)), exigindo menor teor de aglomerantes para promover coesão aceitável, logo, este percentual inicial tende a ser válido e uma boa aproximação para estes parâmetros.

8.3.4 Consumo de Aglomerante

Para definir o traço ideal, adotou-se o processo de pontos próximos, tendo o ponto intermediário de 10% um traço mais forte (+ 3% de cimento) e outro mais fraco (- 3% cimento), conforme ilustram as tabelas 27 e 28.

Tabela 27 – Traços básicos – argamassa com areia natural para reboco.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Porcentagem (%)	1	7,00	22,16	55,84	15,00
	2	10,00	19,16	55,84	15,00
	3	13,00	16,16	55,84	15,00
Volume (l)	1	1,000	3,168	7,977	2,143
	2	1,000	1,916	5,584	1,500
	3	1,000	1,243	4,295	1,154
Massa (kg)	1	1,000	0,931	6,752	1,261
	2	1,000	0,564	4,727	0,882
	3	1,000	0,366	3,636	0,679

Tabela 28 – Traços básicos – argamassa com areia artificial para reboco.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Porcentagem (%)	1	7,00	15,73	62,27	15,00
	2	10,00	12,73	62,27	15,00
	3	13,00	9,73	62,27	15,00
Volume (l)	1	1,000	2,247	8,896	2,143
	2	1,000	1,273	6,227	1,500
	3	1,000	0,748	4,790	1,154
Massa (kg)	1	1,000	0,661	8,667	1,261
	2	1,000	0,374	6,067	0,882
	3	1,000	0,220	4,667	0,679

Destaca-se que foram utilizados os valores de massa específica real e unitária do cimento (3,10 kg/l e 1,70 kg/l) e da cal (2,8 kg/l e 0,50 kg/l), respectivamente, fornecidos pelo fabricante.

8.3.5 Ajuste do traço

Os traços foram ajustados, buscando-se uma consistência de 260 ± 10 mm, sendo necessário o incremento de água para atender a condição, sobretudo para as argamassas com agregado artificial devido à maior porosidade destes.

Percebeu-se que os traços com areia natural apresentaram boa coesão, avaliada conforme item 7.4.4, estando adequados para o uso como argamassa de revestimento de reboco. Com os ajustes, os traços se alteraram um pouco, conforme se observa nas Tabelas 29 a 30.

Tabela 29 – Traços básicos ajustados – argamassa com areia natural para reboco.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Massa (kg)	1	1,000	0,931	6,752	1,471
	2	1,000	0,564	4,727	0,979
	3	1,000	0,366	3,636	0,833
Volume (l)	1	1,000	3,166	7,977	2,500
	2	1,000	1,918	5,584	1,665
	3	1,000	1,195	5,099	1,665
Porcentagem (%)	1	6,83	21,62	54,48	17,07
	2	9,84	18,86	54,92	16,38
	3	12,57	15,63	54,00	17,80

Tabela 30 – Traços básicos ajustados – argamassa com areia artificial para reboco.

Designação	Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
Massa (kg)	1	1,000	0,661	8,667	1,605
	2	1,000	0,374	6,067	1,177
	3	1,000	0,220	4,667	0,932
Volume (l)	1	1,000	2,247	8,896	2,729
	2	1,000	1,273	6,227	2,001
	3	1,000	0,748	4,790	1,584
Porcentagem (%)	1	6,72	15,11	59,82	18,35
	2	9,52	12,12	59,30	19,05
	3	12,31	9,21	58,97	19,51

Percebe-se que os traços com areia natural se alteraram um pouco, contudo, a relação aglomerante/agregado (em volume) se mantém – 0,52. Para adquirir a plasticidade desejada, foi necessário aumentar (17,6%) a relação água/materiais secos de 0,14 para 0,17 em média, em função da sua maior área específica.

Para areia artificial, também se identificou variação, contudo a relação aglomerante/agregado (em volume) se mantém – 0,36. Para adquirir a plasticidade desejada, foi preciso aumentar (25%) a relação água/materiais secos de 0,12 para 0,16 em média, principalmente devido à maior área específica e também da maior porosidade do agregado artificial.

O gráfico 10 ilustra o proporcionamento de materiais para os três traços de areia natural (A.N) e os três traços de areia artificial (A.A.).

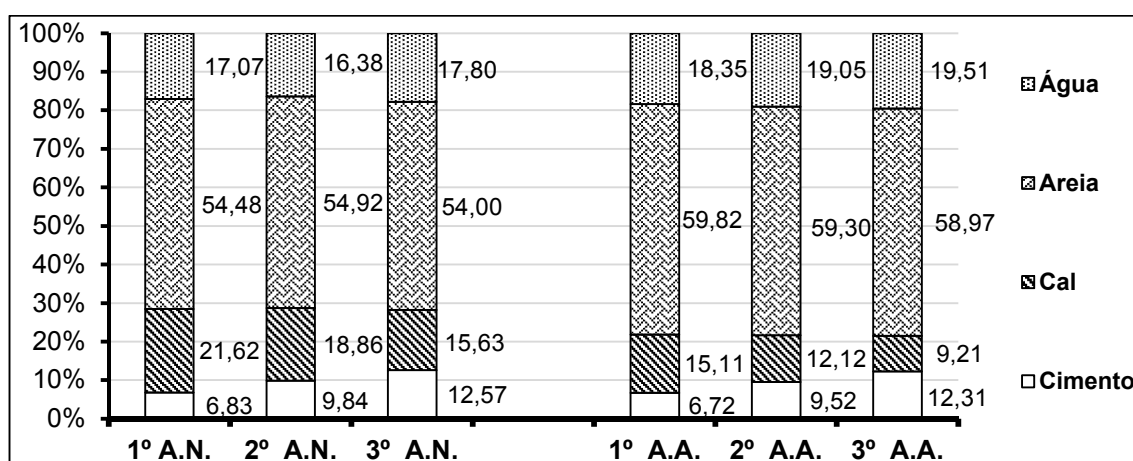


Gráfico 10 – Proporcionamento dos materiais nos traços para reboco.

Quanto ao proporcionamento, percebe-se grande homogeneidade entre os traços, contudo há diferenças no consumo de água entre os tipos de agregados, o que pode ser justificado pela maior absorção do agregado artificial, devido à sua estrutura mineralógica e também ao processo de obtenção – fragmentação artificial de rocha.

O consumo de cimento se mostrou bem parecido, e o de cal exibiu diferenças, o que se justifica pelo maior teor de finos presentes no agregado artificial, reduzindo o consumo de aglomerante como plastificante – ambas as argamassas apresentaram-se com coesão adequada para aplicação como revestimento de reboco.

8.3.6 Definição das propriedades

As argamassas de revestimento de reboco confeccionadas devem atender aos requisitos da ABNT NBR 13281: 2005, nos quais os parâmetros estão especificados no item 8.3.1.3, sendo realizados para isto todos os ensaios e idades elencadas na Tabela 26.

8.3.7 Escolha do traço adequado

Optou-se por definir o traço para a idade 28 dias, por ser esta uma idade de referência aos compósitos cimentício e o objetivo é escolher um traço que tenha boas características durante toda sua vida útil, não como o caso do traço de alvenaria estrutural, que foi preparado para uma condição específica de laboratório.

Estas argamassas de revestimento devem atender a uma condição de dosagem dada pela equação 22. Nesta parte, tem-se a adoção de limites extremos, ou seja, buscam-se propriedades que devem atingir no mínimo ou no máximo um determinado valor na propriedade avaliada.

O intervalo de confiança fica definido como:

- $F_d = F_k + t_{\frac{\alpha}{z} n-1} .S$ (valor mínimo) e
- $F_d = F_k - t_{\frac{\alpha}{z} n-1} .S$ (valor máximo), considerando uma confiabilidade de 95%.

A partir da regressão linear validada pelo teste ANOVA (vide tabelas 31 e 33) que apresentou um valores de f_o maiores que $f_{0,05;v1, v2}$ e P-valor menor que o nível de significância de 0,05, tem-se desvio padrão de cada propriedade apresentado na Tabela 32, juntamente com o valor do R^2 de cada regressão.

Diante das equações de 24 até 37, percebe-se grande variação entre as dependências das propriedades em relação ao materiais quando se avalia todos os parâmetros em conjunto.

Constatou-se, que de forma geral, a pouca variação identificada no consumo de areia promoveu a anulação deste parâmetros, conforme já era esperado, uma vez que se calculou este consumo pela equação 20.

Tabela 31 – Teste ANOVA para regressão linear múltipla – argamassa para revestimento de reboco – areia natural.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_0	P valor	$f_{0,05;4,15}$	Situação
f_c	Regressão	4	238,85	59,71	637,90	$9,02 \cdot 10^{-15}$	3,06	*
	Resíduo	15	2,81	0,19				
	Total	19	241,66					
f_t	Regressão	4	62,62	15,66	855,37	$6,48 \cdot 10^{-5}$	5,19	*
	Resíduo	5	0,12	0,02				
	Total	9	62,74					
A_d	Regressão	4	0,033	0,008	17,51	0,020	5,19	*
	Resíduo	5	0,005	0,001				
	Total	9	0,038					
CC	Regressão	4	114,88	28,72	196,81	$1,72 \cdot 10^{-6}$	3,58	*
	Resíduo	8	2,33	0,29				
	Total	12	117,22					
γ_{seca}	Regressão	4	89,70	22,42	11111,12	0,000	2,78	*
	Resíduo	23	0,06	0,00				
	Total	27	89,76					
γ_{fresca}	Regressão	4	$1,47 \cdot 10^{-03}$	$3,66 \cdot 10^{-04}$	26,68	0,004	4,28	*
	Resíduo	6	$1,65 \cdot 10^{-04}$	$2,31 \cdot 10^{-05}$				
	Total	10	$1,63 \cdot 10^{-03}$					
E_d	Regressão	4	12,90	3,22	16,73	0,001	3,63	*
	Resíduo	10	7,71	0,77				
	Total	14	20,61					

* Teste ANOVA – Existe correlação/dependência entre as propriedades e o percentual de materiais que compõe o traço.

Tabela 32 – Valores de desvio padrão e R^2 – argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Propriedade	Areia Natural		Areia Artificial	
	Desvio padrão	R^2	Desvio padrão	R^2
f_c (MPa)	0,433	0,988	0,446	0,998
f_t (MPa)	0,156	0,998	0,094	0,999
A_d (MPa)	0,031	0,875	0,027	0,966
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	0,540	0,980	0,250	0,992
γ_{seca} (kg/l)	51,875	0,999	25,381	0,735
γ_{fresca} (kg/l)	5,241	0,899	0,924	0,987
E_d (Gpa)	0,088	0,626	0,354	0,944

Um ponto a se destacar é o consumo de cimento, que apresentou variação em torno de 3% não sendo significativa em muitas propriedades avaliadas para alterá-las. Os demais materiais se apresentam dependentes tanto do consumo de água, como do de cal, que apresentaram maior variação.

Tabela 33 – Teste ANOVA para regressão linear múltipla – argamassa para revestimento de reboco – areia artificial.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;4,15}$	Situação
f_c	Regressão	4	1624,01	406,00	2716,97	0,000	3,06	*
	Resíduo	15	2,79	0,20				
	Total	19	1626,80					
f_t	Regressão	4	74,67	18,67	2818,72	0,000	5,19	*
	Resíduo	5	0,04	0,01				
	Total	9	74,71					
A_d	Regressão	4	0,100	0,025	71,35	0,003	5,19	*
	Resíduo	5	0,004	0,001				
	Total	9	0,104					
CC	Regressão	4	114,88	61,79	15,45	494,313	3,58	*
	Resíduo	8	2,33	0,50	0,06			
	Total	12	117,22	62,29				
γ_{seca}	Regressão	4	0,04	0,01	33,35	0,000	2,78	*
	Resíduo	24	0,02	0,00				
	Total	28	0,06					
γ_{fresca}	Regressão	4	$4,03 \cdot 10^{-04}$	$1,01E-04$	236,08	0,000	4,28	*
	Resíduo	6	$5,12 \cdot 10^{-06}$	$8,54 \cdot 10^{-07}$				
	Total	10	$4,08 \cdot 10^{-04}$					
E_d	Regressão	4	18,80	4,70	75,22	0,000	3,63	*
	Resíduo	9	1,12	0,12				
	Total	13	19,93					

* Teste ANOVA – Existe correlação/dependência entre as propriedades e o percentual de materiais que compõe o traço.

Pelas regressões lineares, pode-se obter as curvas de correlação de cada propriedades em função dos consumos percentuais dos materiais, conforme expresso nas equações de 24 a 30 para areia natural:

$$f_c = 28,475 + 0,000 C_{cimento} - 1,431 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 0,422 C_{água} \quad (24)$$

$$f_t = 0,000 C_{cimento} - 0,364 C_{cal} + 2,09 C_{areia} - 0,117 C_{água} \quad (25)$$

$$A_d = 0,843 + 0,000 C_{cimento} - 0,027 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 0,002 C_{água} \quad (26)$$

$$CC = -42,963 + 0,000 C_{cimento} + 1,514 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 1,226 C_{água} \quad (27)$$

$$\gamma_{fresco} = 2,168 + 0,000 C_{cimento} - 0,006 C_{cal} + 0,000 C_{areia} - 0,005 C_{água} \quad (28)$$

$$\gamma_{endurecido} = 0,000 + 0,000 C_{cimento} - 0,034 C_{cal} + 0,047 C_{areia} - 0,004 C_{\acute{a}gua} \quad (29)$$

$$E_d = 13,094 + 0,000 C_{cimento} - 0,367 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 0,000 C_{\acute{a}gua} \quad (30)$$

Realizou-se mesmo procedimento para areia artificial e obteve-se as equações de 31 a 37 para areia natural:

$$f_c = 2,497 C_{cimento} + 0,000 C_{cal} + 0,780 C_{areia} - 3,235 C_{\acute{a}gua} \quad (31)$$

$$f_t = 0,673 C_{cimento} + 0,000 C_{cal} + 0,341 C_{areia} - 1,255 C_{\acute{a}gua} \quad (32)$$

$$A_d = 3,492 + 0,000 C_{cimento} - 0,071 C_{cal} + 0,000 C_{areia} - 0,114 C_{\acute{a}gua} \quad (33)$$

$$CC = 99,080 + 0,000 C_{cimento} + 0,036 C_{cal} + 0,000 C_{areia} - 4,988 C_{\acute{a}gua} \quad (34)$$

$$\gamma_{fresco} = 2,588 + 0,000 C_{cimento} - 0,007 C_{cal} + 0,000 C_{areia} - 0,024 C_{\acute{a}gua} \quad (35)$$

$$\gamma_{endurecido} = -1,576 + 0,000 C_{cimento} + 0,019 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 0,180 C_{\acute{a}gua} \quad (36)$$

$$E_d = 2,370 + 0,000 C_{cimento} - 0,426 C_{cal} + 0,000 C_{areia} + 0,475 C_{\acute{a}gua} \quad (37)$$

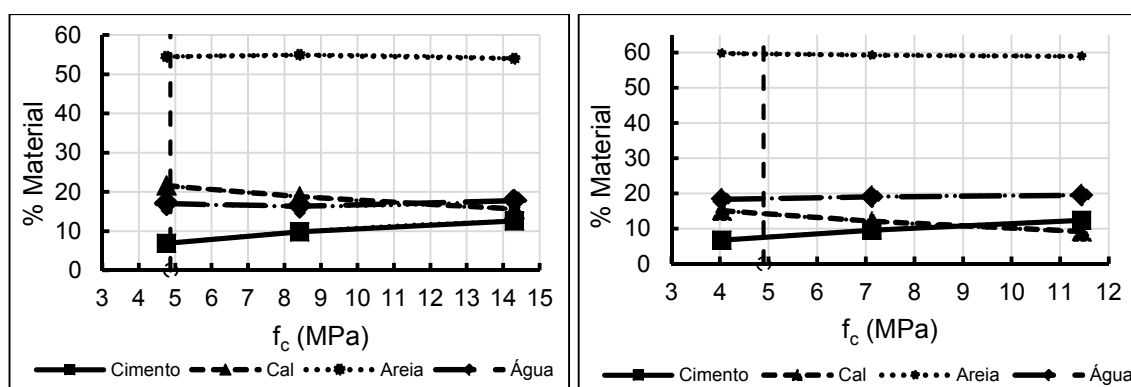
Estruturou-se o intervalo de confiança para estes resultados, com confiabilidade de 95%, sendo adotado aqui o parâmetro que f_c , f_t , A_d , E_d , γ_{seca} , γ_{fresca} , os valores de F_d (parâmetros de dosagem) deveriam ser maiores que o F_k (parâmetros característicos). Já para o coeficiente de capilaridade e a avaliação de tendência a fissurabilidade, optou-se que F_d fosse menor que o F_k , devido ao fato de que quanto maior estes parâmetros, menores seriam as outras propriedades, ou ainda, este seria um elemento depreciativo na qualidade das argamassas - são inversamente proporcionais às demais, inclusive os gráficos são apresentados de forma invertida.

Apresentam-se na tabela 34 os valores característicos de cada propriedade, o $t_{\frac{\alpha}{z}}^{n-1}$ tabelado (Distribuição t) para um nível de significância de 5% (confiabilidade de 95%) e grau de liberdade ($n-1$) e os valores de dosagem

de cada propriedade. Pode-se, assim, confeccionar os gráficos de proporcionamento de materiais versus cada propriedade e definir o traço ideal (vide Gráficos 11 a 18).

Tabela 34 – Valores de desvio padrão e R^2 – argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

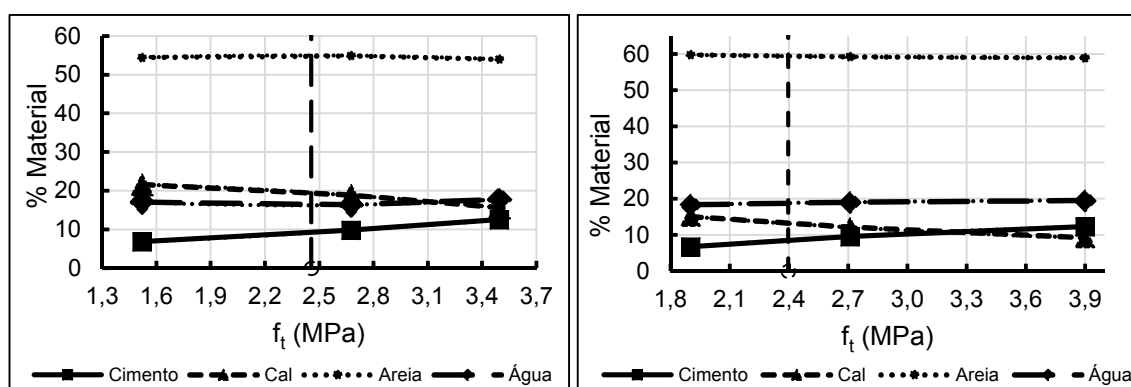
Propriedade	Areia Natural			Areia Artificial		
	F_k	$t_{\frac{\alpha}{z}} n-1$	F_d	F_k	$t_{\frac{\alpha}{z}} n-1$	F_d
f_c (MPa)	4,000	2,015	4,872	4,000	2,015	4,899
f_t (MPa)	2,000	2,920	2,456	2,000	2,920	2,396
A_d (MPa)	0,300	2,920	0,390	0,300	2,920	0,377
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	7,000	2,353	5,729	7,000	2,353	6,412
γ seca (kg/l)	1600	2,353	1612	1600	2,353	1602
γ fresca (kg/l)	1400	2,353	1522	1400	2,353	1460
E_d (Gpa)	7000	2,353	6793	7000	2,353	6167



(a)

(b)

Gráfico 11 – Proporcionalização dos materiais versus resistência à compressão nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.



(a)

(b)

Gráfico 12 – Proporcionalização dos materiais versus resistência à tração na flexão nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.

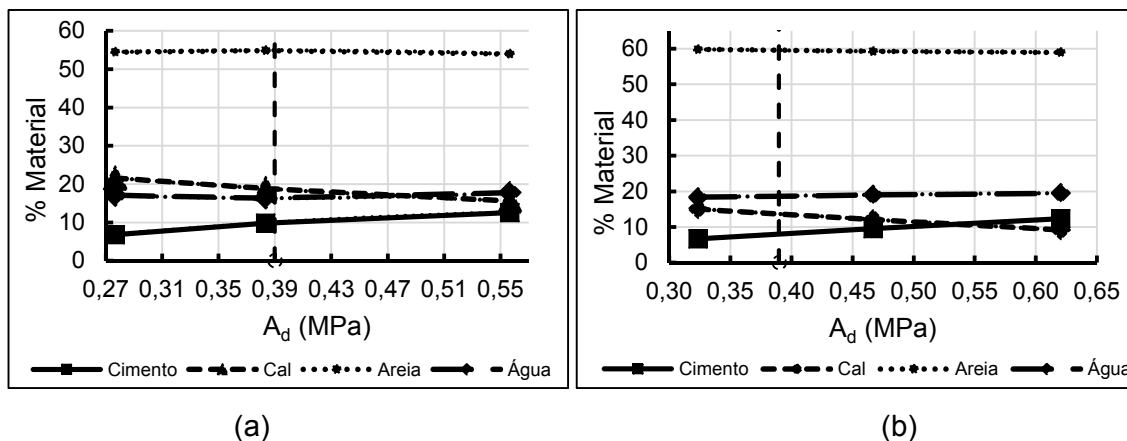


Gráfico 13 – Proporcionalamento dos materiais versus resistência potencial de aderência à tração nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.

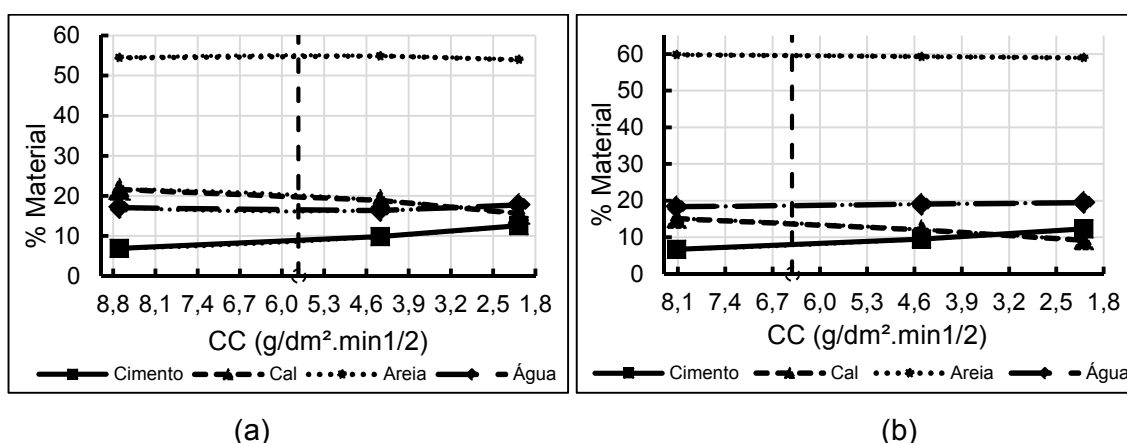


Gráfico 14 – Proporcionalamento dos materiais versus coeficiente de capilaridade nos traços para revestimento de reboco com (a) areia natural e (b) areia artificial.

Percebe-se, pelos gráficos, que foi possível aproximar os três traços por curvas polinomiais de 2º grau, o que convergiu para R^2 iguais a 1. Destaca-se que para outras aproximações (com mais traços analisados) esta regressão talvez não seja a configuração mais adequada, devendo o interessado buscar curvas com R^2 mais próximos de 1. Neste caso esta configuração foi adotada por serem curvas que passavam por todos os pontos, logo, seriam mais representativas.

Algumas propriedades, como massa específica no estado fresco e endurecido, apresentaram valores superiores aos parâmetros estabelecidos em todos os traços analisados, logo, foram tratadas como elementos de verificação, sem a necessidade de serem levados em consideração no momento da escolha do traço, vide gráficos 15 e 16.

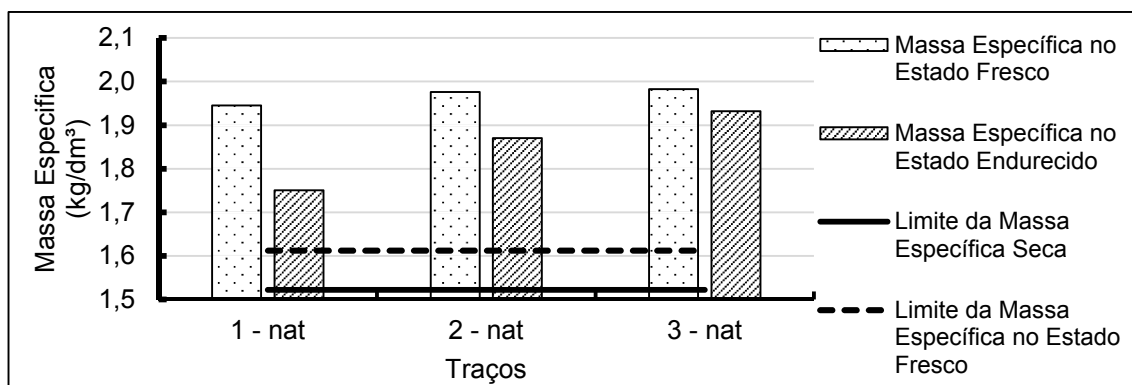


Gráfico 15 – Proporcionamento dos materiais versus massa específica no estado fresco e endurecido nos traços para revestimento de reboco com areia natural.

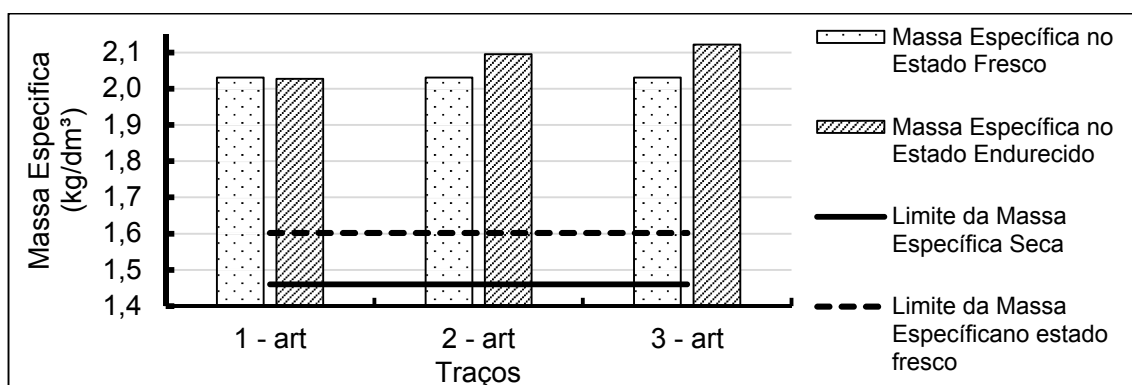


Gráfico 16 – Proporcionamento dos materiais versus massa específica no estado fresco e endurecido nos traços para revestimento de reboco com areia artificial.

Para avaliar a tendência a fissurabilidade, foram criados os gráficos 17 e 20, contudo, adotou-se avaliação mais qualitativa de forma a classificar as argamassas quanto a este parâmetro, objetivando-se manter como baixa ou média fissurabilidade.

Diante dos resultados, pode-se encontrar o traço mais adequado para cada tipo de areia e condições estipuladas. Para a escolha, pode-se avaliar qual propriedade se apresenta mais exigente quanto ao seu parâmetro. Por exemplo, qual a propriedade apresenta a exigência de um traço mais próximo do traço mais forte, ou seja, mais à direita do gráfico. Pelos gráficos, percebe-se que para areia natural, a resistência potencial de aderência à tração é a propriedade limitadora e para a areia artificial é a resistência à tração na flexão.

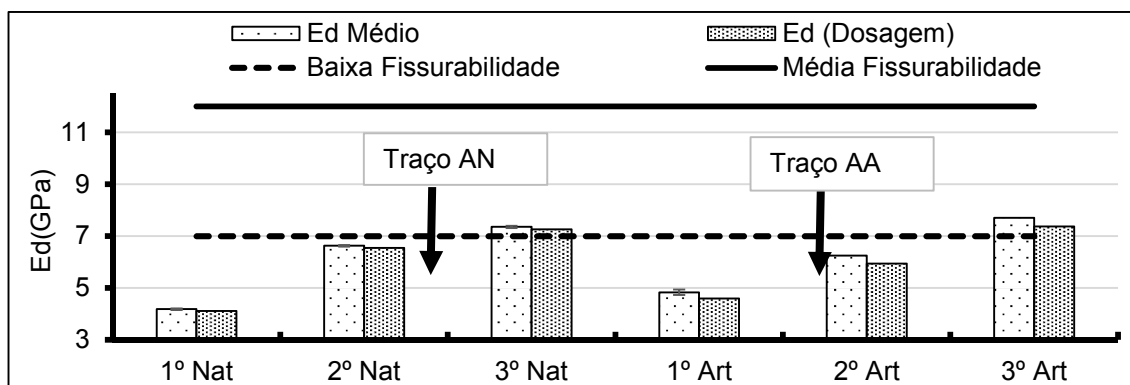


Gráfico 17 – Valores do módulo de elasticidade dinâmico para cada traço para revestimento de reboco com areia natural e artificial.

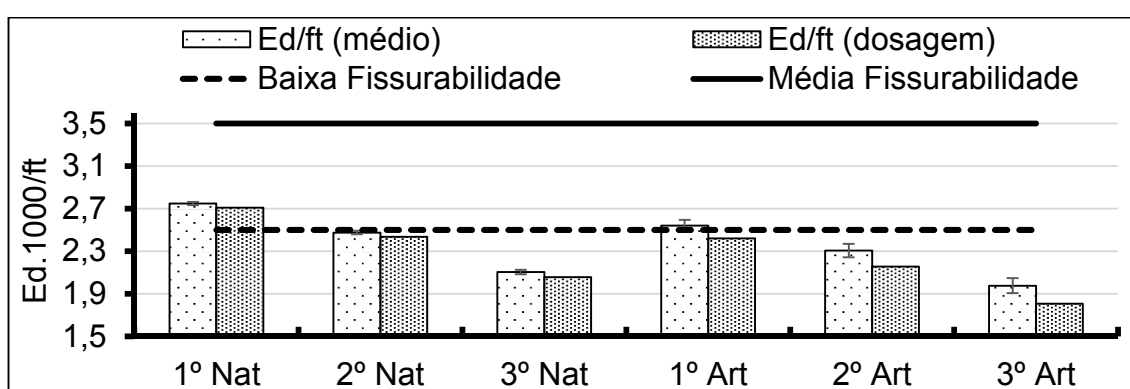


Gráfico 18 – Valores da correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência a tração na flexão para cada traço para revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Diante desta análise, obtém-se as correlações que definem o traço ideal para cada areia. Para areia natural pode-se utilizar as equações 38 a 41.

$$C_{\text{areia}} = -33,688 A_d^2 + 26,359 A_d + 49,766 \quad (38)$$

$$C_{\text{água}} = 52,361 A_d^2 - 41,027 A_d + 24,413 \quad (39)$$

$$C_{\text{cal}} = 25,859 A_d^2 - 42,942 A_d + 31,521 \quad (40)$$

$$C_{\text{cimento}} = -44,531 A_d^2 + 57,609 A_d - 5,7 \quad (41)$$

Para areia artificial, podem ser utilizadas as equações de 42 a 45.

$$C_{\text{areia}} = 0,1832 f_t^2 - 1,4881 f_t + 61,987 \quad (42)$$

$$C_{\text{água}} = -0,240 f_t^2 + 1,973 f_t + 15,468 \quad (43)$$

$$C_{\text{cal}} = 0,628 f_t^2 - 6,048 f_t + 25,374 \quad (44)$$

$$C_{\text{cimento}} = -0,560 f_t^2 + 6,593 f_t - 2,751 \quad (45)$$

Realizou-se o teste ANOVA para cada correlação realizada nos gráficos 13 (a) (A_d – natural) e 12 (b) (f_t – artificial) – equações de 27 a 34, de modo a verificar a significância/dependência entre a propriedade e o consumo de material. A tabela 35 mostra os resultados dos testes nas correlações para areia natural e a tabela 36 para areia artificial.

Tabela 35 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia natural.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;1,7}$	Situação
$f_t \times C_{\text{cim}}$	Regressão	1	47,781	47,781	199,108	$2,1310^{-06}$	5,59	*
	Resíduo	7	1,680	0,240				
	Total	8	49,461					
$f_t \times C_{\text{cal}}$	Regressão	1	53,640	53,640	1293,694	$3,33 \cdot 10^{-09}$	5,59	*
	Resíduo	7	0,290	0,041				
	Total	8	53,931					
$f_t \times C_{\text{areia}}$	Regressão	1	0,314	0,314	2,301	0,173	5,59	**
	Resíduo	7	0,956	0,137				
	Total	8	1,270					
$f_t \times C_{\text{água}}$	Regressão	1	0,825	0,825	2,623	0,149	5,59	**
	Resíduo	7	2,201	0,314				
	Total	8	3,025					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

Tabela 36 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia artificial.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;1,7}$	Situação
$A_d \times C_{\text{cim}}$	Regressão	1	45,942	45,942	345,565	$3,23 \cdot 10^{-07}$	5,59	*
	Resíduo	7	0,931	0,133				
	Total	8	46,872					
$A_d \times C_{\text{cal}}$	Regressão	1	51,102	51,102	320,386	$4,1910^{-07}$	5,59	*
	Resíduo	7	1,117	0,160				
	Total	8	52,218					
$A_d \times C_{\text{areia}}$	Regressão	1	1,032	1,032	104,231	$1,87 \cdot 10^{-05}$	5,59	*
	Resíduo	7	0,069	0,010				
	Total	8	1,102					
$A_d \times C_{\text{água}}$	Regressão	1	1,927	1,927	112,232	$1,46 \cdot 10^{-05}$	5,59	*
	Resíduo	7	0,120	0,017				
	Total	8	2,047					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

Percebe-se que para a resistência potencial de aderência à tração da argamassa de revestimento de reboco com areia natural, a variação do consumo de areia e de água ($f_0 < f_{0,05;1,7}$) não foi significativa, ou seja, o nível de variação identificado não causou alterações significativas em A_d . Pode-se afirmar ainda que o coeficiente angular entre os elementos tem valor próximo de zero.

Em contrapartida a resistência à tração na flexão se mostrou influenciada por todos os componentes do traço, demonstrando ser mais sensível em relação à variação dos componentes no traço.

Estes resultados demonstram que os valores de água e agregado miúdo no traço com areia natural variaram muito pouco nas três proporções, enquanto os demais componentes e todos os componentes da argamassa com areia artificial tiveram variação mais expressiva, o que foi identificado pelo teste da ANOVA.

Com o objetivo de verificar se a afirmação procede e, também para constatar quais seriam os valores que dimensionariam o traço ideal, foram criadas as curvas de correlação estatística dos gráficos 19 e 20, correlacionando as propriedades entre si.

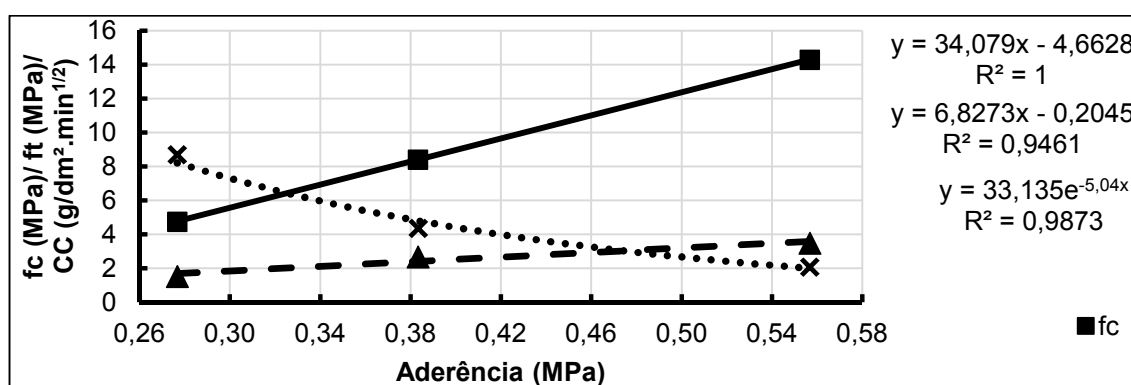


Gráfico 19 – Correlação entre as propriedades dos traços para revestimento de reboco com areia natural.

Diante desta análise, obtém-se as correlações que permitem estimar os valores das propriedades do traço ideal para cada areia.

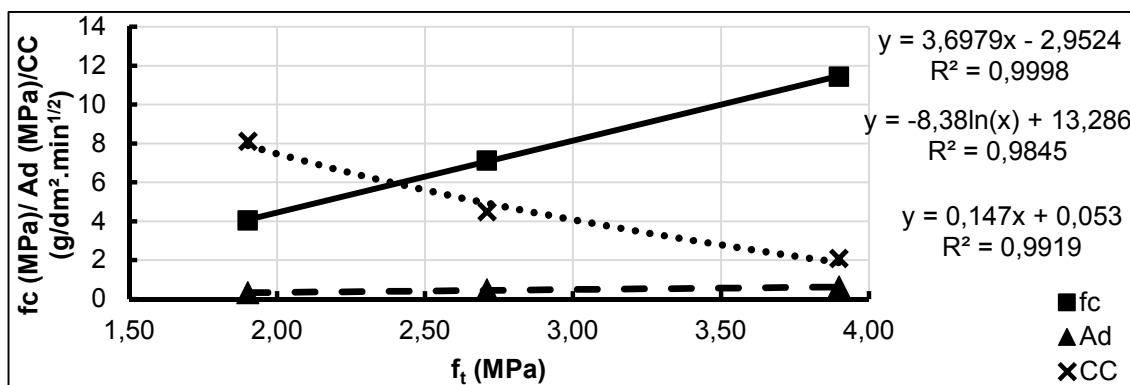


Gráfico 20 – Correlação entre as propriedades dos traços para revestimento de reboco com areia artificial.

Para areia natural pode-se utilizar as equações 46 a 48.

$$f_c = 34,079.A_d - 4,6628 \quad (46)$$

$$f_t = 6,8273.A_d - 0,2045 \quad (47)$$

$$CC = 33,301e^{-5,077.A_d} \quad (48)$$

Para areia artificial, pode-se utilizar as equações 49 a 51.

$$f_c = 34,079.A_d - 4,6628 \quad (49)$$

$$f_t = 6,8273.A_d - 0,2045 \quad (50)$$

$$CC = 33,301e^{-5,077.A_d} \quad (51)$$

Realizou-se o teste ANOVA para cada correlação dos gráficos 19 (natural) e 20 (artificial) – equações de 46 a 51, de modo a verificar a significância/dependência entre a propriedade e o consumo de material. A tabela 37 mostra os resultados dos testes nas correlações para areia natural e a tabela 38 para areia artificial.

Diante dos resultados, percebe-se que a tração na flexão e o coeficiente de capilaridade para areia natural não variaram significativamente em relação à A_d . O mesmo não aconteceu com as demais propriedades dos agregados. Acredita-se que o número reduzido (adotaram-se as médias para fazer a correlação) de pontos pode ter conduzido a um valor de $f_{0,05;1,1}$ muito alto, impedindo a validação desta correlação. Diante disto, optou-se por manter as curvas devido ao elevado R^2 encontrado em cada correlação (≈ 1).

Tabela 37 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia natural.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;1,1}$	Situação
$f_c \times A_d$	Regressão	1	46,388	46,388	169097,796	0,002	161,4	*
	Resíduo	1	0,000	0,000				
	Total	8	46,388					
$f_t \times A_d$	Regressão	1	1,8617	1,8617	17,5503	0,1492	161,4	**
	Resíduo	7	0,1061	0,1061				
	Total	8	1,9678					
$CC \times A_d$	Regressão	1	20,603	20,603	9,044	0,204	161,4	**
	Resíduo	7	2,278	2,278				
	Total	8	22,881					

* Existe significância/dependência entre as propriedades;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades;

Tabela 38 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco – areia artificial.

Propriedade		gl	SQ	MQ	f_o	P valor	$f_{0,05;1,1}$	Situação
$f_c \times f_t$	Regressão	1	27,617	27,617	4392,957	0,010	161,4	*
	Resíduo	7	0,006	0,006				
	Total	8	27,623					
$f_c \times f_t$	Regressão	1	0,044	0,044	121,891	0,058	161,4	**
	Resíduo	7	0,000	0,000				
	Total	8	0,044					
$f_c \times f_t$	Regressão	1	17,471	17,471	18,805	0,144	161,4	**
	Resíduo	7	0,929	0,929				
	Total	8	18,400					

* Existe significância/dependência entre as propriedades;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades;

A partir das equações de 38 a 45, pode-se encontrar o traço ideal para as condições dos materiais e do local de aplicação, vide Tabela 39.

Tabela 39 – Traço ideal para areia natural.

Areia	Traço Final	Cimento	Cal	Areia	Água
Natural	%	9,99	18,71	54,92	16,38
	Volume (l)	1,000	1,873	5,497	1,640
	Massa (kg)	1,000	0,551	4,653	0,964
Artificial	%	8,53	13,18	59,47	18,82
	Volume (l)	1,000	1,545	6,972	2,206
	Massa (kg)	1,000	0,455	6,793	1,298

A tabela 40 mostra os valores característicos, de dosagem e estimados para as argamassas de revestimento de reboco tanto com areia natural como artificial.

Tabela 40 – Valores característicos, de dosagem e estimados para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Propriedade	Areia Natural			Areia Artificial		
	F_k	F_d	$F_{esperado}$	F_k	F_d	$F_{esperado}$
f_c (MPa)	4,000	4,872	8,280	4,000	4,899	5,908
f_t (MPa)	2,000	2,456	2,457	2,000	2,396	2,396
A_d (MPa)	0,300	0,390	0,390	0,300	0,377	0,405
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	7,000	5,729	4,645	7,000	6,412	5,957
γ_{seca} (kg/l)	1600	1522	≈ 1970	1600	1460	≈ 2020
γ_{fresca} (kg/l)	1400	1612	≈ 1870	1400	1602	≈ 2010
E_d (Gpa)	7000	6793	≈ 6500	7000	6167	≈ 5500

Estruturou-se na tabela 41, um resumo com todos os resultados utilizados na dosagem para os três traços de argamassas e seu erro padrão encontrado, tanto para areia natural como artificial. Destaca-se que estes foram resultados obtidos aos 28 dias de idade.

Tabela 41 – Valores encontrados para cada traço de argamassa para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Propriedade	Areia Natural			Areia Artificial		
	1º traço	2º traço	3º traço	1º traço	2º traço	3º traço
f_c (MPa) - media	4,76	8,41	14,30	4,04	7,13	11,44
Erro	0,06	0,27	0,63	0,08	0,15	0,15
f_t (MPa) - media	1,52	2,68	3,50	1,90	2,71	3,90
Erro	0,02	0,05	0,08	0,02	0,07	0,02
A_d (MPa) - media	0,277	0,389	0,557	0,323	0,467	0,620
Erro	0,010	0,010	0,012	0,010	0,006	0,015
CC (g/dm ² .min ^{1/2}) - media	8,70	4,30	1,58	8,12	4,50	2,10
Erro	0,11	0,08	0,49	0,11	0,81	0,04
γ_{seca} (kg/l) - media	1,751	1,871	1,932	2,027	2,096	2,122
Erro	0,007	0,030	0,015	0,012	0,007	0,010
γ_{fresca} (kg/l) - media	1,957	1,976	1,987	2,031	2,036	2,047
Erro	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000
E_d (Gpa) - media	4,18	6,52	7,36	4,83	6,25	7,71
Erro	0,03	0,03	0,04	0,10	0,13	0,14
E_d/f_t	2748	2435	2104	2542	2306	1976

De forma geral, percebe-se que as propriedades são dependentes da composição do traço (proporcionamento de cada constituinte), validadas pelos gráficos e teste ANOVA. Fica evidente que a metodologia permite avaliar traços próximos e que rodeiam a maioria das propriedades analisadas neste trabalho, permitindo assim a definição do traço ideal.

8.3.8 Validação da metodologia

A validação da metodologia correspondeu à moldagem de corpos de prova de argamassa para ensaios nas propriedades exigidas e comparação destes com os valores previstos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 42 e nos gráficos de 21 a 27. Nesta, apresentam-se os valores médios, erro padrão e situação dos dados em relação ao teste t que buscou verificar se os valores atendiam aos parâmetros estipulados (maiores ou menores, conforme o caso).

Tabela 42 – Resultados, erros e teste t encontrados para o traço adequado das argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Propriedade	Areia Natural			Areia Artificial		
	F _{encontrado}	Erro	Situação	F _{encontrado}	Erro	Situação
f_c (MPa)	8,24	0,74	*	5,96	0,44	*
f_t (MPa)	2,69	0,23	*	2,40	0,17	*
A_d (MPa)	0,39	0,03	*	0,40	0,03	*
CC (g/dm ² .min ^{1/2})	4,68	0,08	*	6,07	0,18	*
γ_{seca} (kg/l)	1,884	0,030	*	2,020	0,018	*
γ_{fresca} (kg/l)	1,978	0,001	*	2,034	0,003	*
E_d (GPa)	6,31	0,05	*	5,58	0,04	*
E_d/f_t	2346		*	2321		*

* O teste t constatou que os valores encontrados em cada propriedade atendiam aos limites estipulados.

Analisando o gráfico 21, percebe-se que os valores de f_c foram bem superiores ao limite estipulado, o que pode ser justificado pelos gráficos 22 e 23 que apresentam os valores de f_t e A_d , respectivamente, que são os parâmetros limitadores dos traços analisados. Nestes dois últimos, os valores estão margeando os limites de dosagem, conforme é esperado; contudo dentro dos limites estabelecidos.

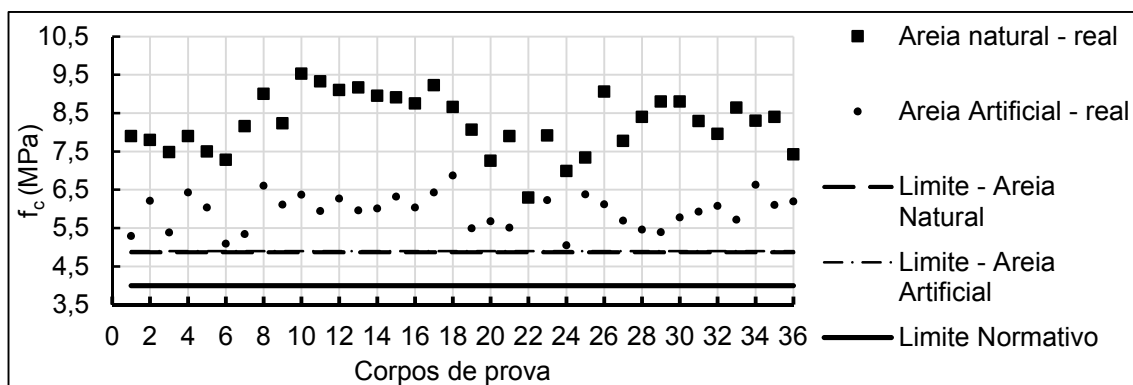


Gráfico 21 – Resultado dos corpos de prova para a resistência à compressão das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

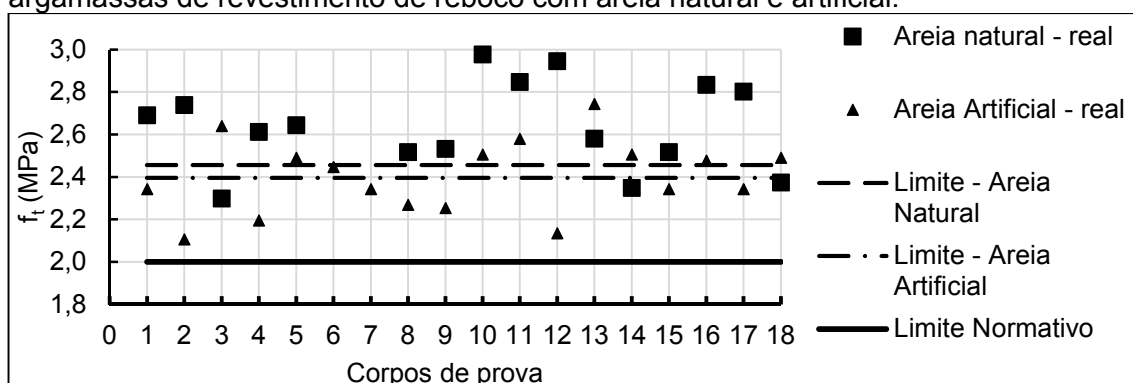


Gráfico 22 – Resultado dos corpos de prova para a resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

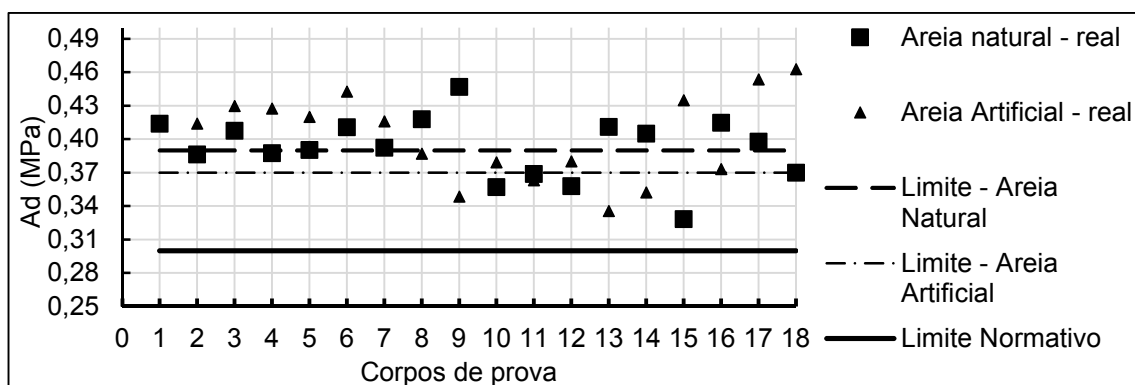


Gráfico 23 – Resultado dos corpos de prova para a resistência potencial de aderência à tração das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

O coeficiente de capilaridade (gráfico 24) se mostrou mais próximo do limite de dosagem para a argamassa artificial, porém bem inferior para a areia natural, demonstrando que o primeiro é mais sensível à capilaridade que o segundo, ou seja, possui maior quantidade de poros permeáveis.

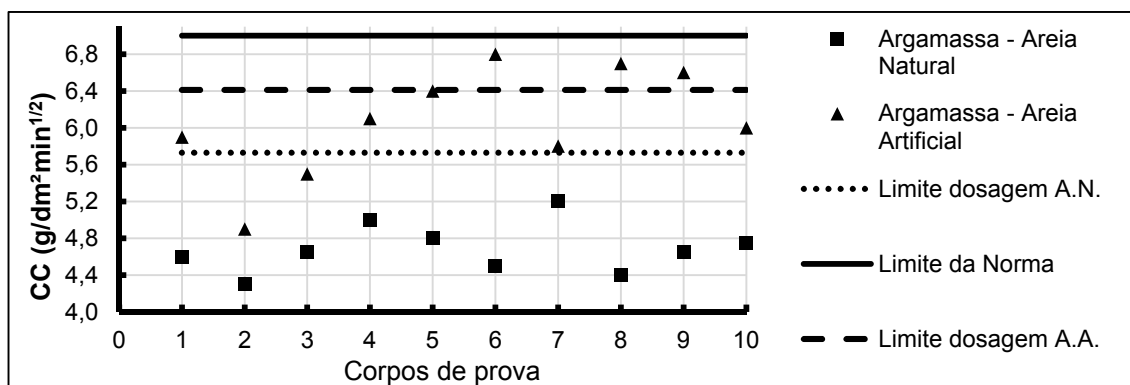


Gráfico 24 – Resultado dos corpos de prova para o coeficiente de capilaridade das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

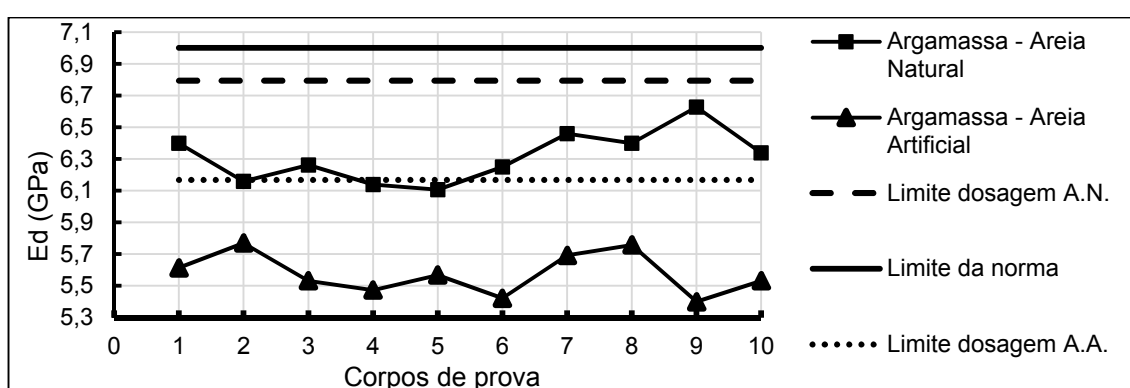


Gráfico 25 – Resultado dos corpos de prova para o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

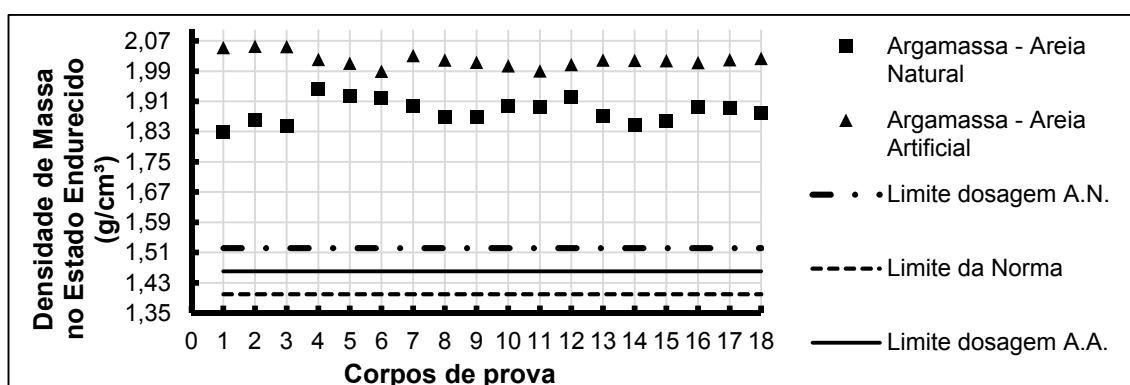


Gráfico 26 – Resultado dos corpos de prova para a densidade de massa no estado endurecido das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Quanto à tendência à fissurabilidade (gráfico 25), pode-se afirmar que os dados indicaram baixa fissurabilidade ($E_d < 7$ GPa) e fazendo a relação E_d/f_t encontrou também baixa fissurabilidade ($E_d/f_t < 2500$), o que demonstra que as argamassas produzidas têm indicativo de alta durabilidade e eficiência quanto aos parâmetros analisados.

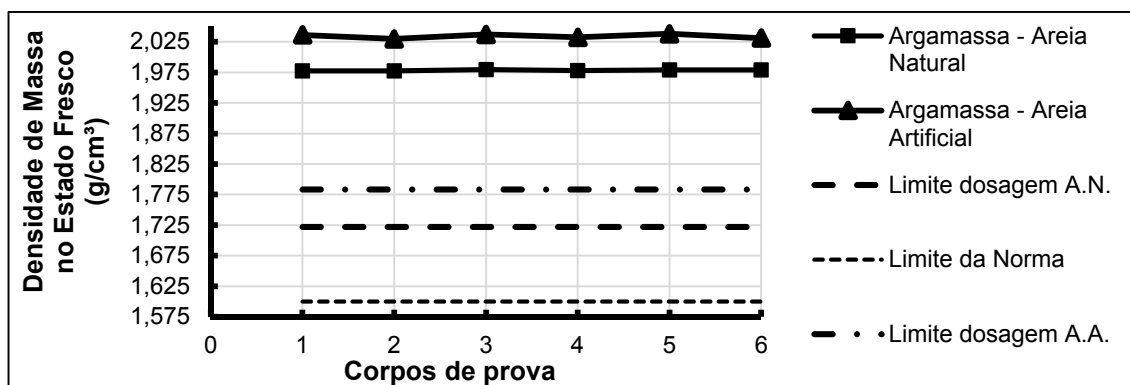


Gráfico 27 – Resultado dos corpos de prova para a densidade de massa no estado fresco das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

As densidades de massas (Gráficos 26 e 27), conforme constatado anteriormente, se apresentaram bem superiores aos limites estipulados, sendo ligeiramente maior para a areia artificial, o que pode ser justificado pelo maior massa específica real deste agregado.

Destaca-se que, com o objetivo de garantir e validar a metodologia de forma eficiente e confiável, estruturou-se uma ampliação do número de corpos de prova, de modo a maximizar a amostragem e realizar testes que comprovassem o cumprimento dos parâmetros estipulados.

Para isto, foram realizadas avaliações dos dados quanto à sua aproximação da curva normal, sendo utilizados três testes de normalidade, a saber: Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk. Os dados se apresentaram em sua totalidade como normais. Diante disto, comprovou-se que a determinação de parâmetros, intervalos de confiança e testes que consideram a distribuição da curva t como base são adequados, uma vez que esta representa um aproximação da curva normal para diversos níveis de significância e graus de liberdade.

Ressalta-se que foram feitos estes testes para os traços básicos, contudo, em função de alguns terem números de corpos de prova pequenos (3,4) algumas vezes os testes não eram aprovados, mesmo sendo os valores muito próximos; por isso a ampliação do número de corpos de prova para identificar o comportamento do material, com confiabilidade de 95%.

Percebe-se ao analisar a Tabela 42 e gráficos 21 e 27 que os valores encontrados para os corpos de prova estão entre os limites do intervalo de confiança (maior ou menor que o parâmetro estipulado, vide Tabela 26),

demonstrando que o processo de dosagem permite obter a argamassa desejada, com confiabilidade de 95%.

8.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DE DOSAGEM PROPOSTA

Diante dos resultados e verificações experimentais e estatísticas executadas, pode-se afirmar que a metodologia é viável e eficiente, com parâmetros e condições de aplicação exequíveis.

Quanto à metodologia em si, pode-se afirmar que as inovações propostas neste trabalho são: a forma de obtenção dos teores de cada componente (itens de 7.3.1 até 7.3.3.3) e a forma de obtenção do traço adequado através de curvas de aproximação por planilhas eletrônicas (itens 7.4.6).

O uso de planilha eletrônica se mostrou uma alternativa muito interessante, uma vez que maximiza a abrangência do uso destas informações de forma mais automática e prática. Diante disto, no item 8.7 será apresentado um esquema de planilha que foi estruturada a partir dos parâmetros discutidos neste trabalho, e que permitirá a obtenção dos traços básicos e ideal de forma mais automática.

Esta planilha objetiva sistematizar o processo de dosagem permitindo ao usuário a inserção dos parâmetros e condições desejados, e possibilitará a obtenção do traço ideal para estes condicionantes e materiais.

A forma de obtenção se mostrou eficiente e prática, com atividades simples que permitem obter os dados desejados com confiabilidade de 95%. Além disso, pode-se destacar que os procedimentos propostos viabilizam uma nova visão acerca das argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, demonstrando como os constituintes interferem nas propriedades destes compósitos, seja no estado fresco ou endurecido, e que a escolha do traço adequado, baseada em parâmetros técnico-científicos se mostra mais adequada, convergindo para materiais mais econômicos (menor consumo de aglomerante), duráveis (dependência entre resistência, módulo de elasticidade,

porosidade, absorção e as condições do local de aplicação) e sustentáveis (materiais mais eficientes e duráveis).

8.5 ANÁLISE TÉCNICO-CIENTÍFICA DOS TRAÇOS AO LONGO DA IDADE

Os dados apresentados até esta parte do trabalho tiveram o intuito de balizar a metodologia de dosagem e promover sua validação, o que foi realizado. Nesta parte serão apresentados os valores encontrados para todos os traços, sob análise de cada propriedade, seus constituintes e sua evolução ao longo do período de avaliação.

8.5.1 Resistência à compressão

O Gráfico 28 e a Tabela 43 apresentam o resultado dos seis traços básicos de argamassa de revestimento de reboco com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para a resistência à compressão.

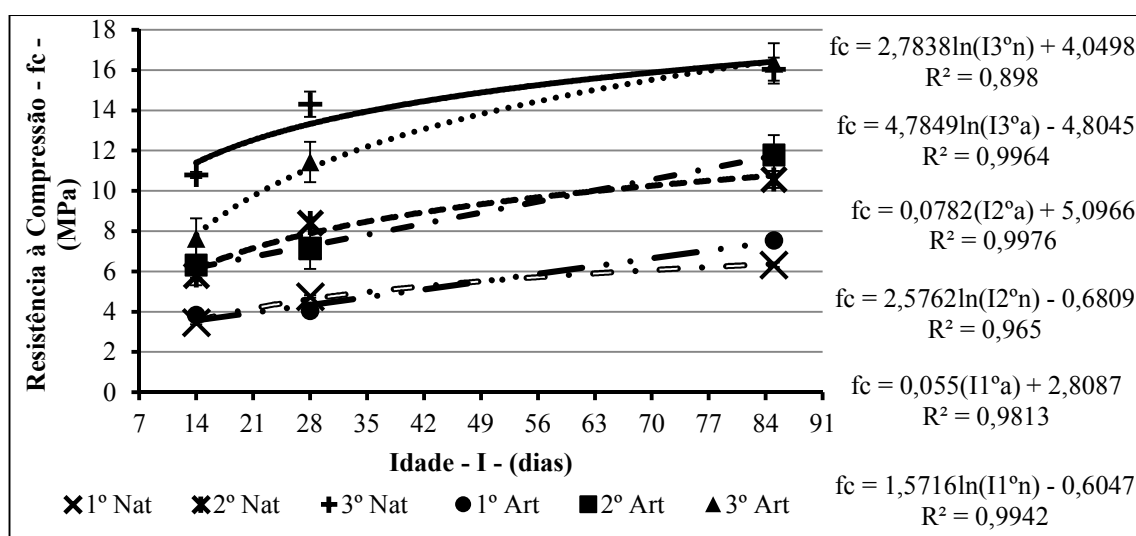


Gráfico 28 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Analisando o gráfico 28 e tabela 43, constata-se que a aproximação logarítmica se apresentou como adequada, permitindo estimar/interpolos

valores de f_c ao longo da idade da análise. Ressalta-se que durante o período de teste não se identificou a estabilização da reações de carbonatação da cal, com previsão de crescimento positivo.

Tabela 43 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão dos traços básicos para as argamassas para revestimento de reboco – AA e AN.

Traço	Areia Natural				Areia Artificial			
	Idade (dias)	f_c (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)	Idade (dias)	f_c (MPa)	Erro (MPa)	Aument ^o (%)
1° Nat	14	3,47	0,09		1° Art	14	3,83	
	28	4,76	0,06	37,28 *	28	4,04		5,46 *
	85	6,33	0,11	33,03 **	85	7,55		86,91 **
2° Nat	14	5,80	0,13		2° Art	14	6,32	
	28	8,41	0,27	45,00 *	28	7,13		12,83 *
	85	10,57	0,43	25,59 **	85	11,78		65,21 **
3° Nat	14	10,79	0,16		3° Art	14	7,64	
	28	14,30	0,63	32,50 *	28	11,44		49,72 *
	85	16,04	0,57	12,16 **	85	16,34		42,85 **

* Aumento percentual entre 28 dias e 14 dias.

** Aumento percentual entre 85 dias e 28 dias.

A influência da presença da cal pode ser observada nos traços mais ricos neste aglomerante (1° Nat. e 1° Art.), nos quais o aumento da resistência à compressão chegou a 86,91% (1° Art.) após os 28 dias.

O efeito do cimento pode ser observado nos traços mais ricos neste material (3° Nat. e 3° Art.), nos quais o aumento se mostrou mais evidente até 28 dias de idade, chegando 49,72%. Percebe-se que o processo de hidratação do cimento (CP-II-E-32) tende a se estabilizar aos 28 dias, conforme citado na literatura (METHA e MONTEIRO, 2008 e ISAIA, 2010).

O agregado evidenciou seus efeitos quando se comparam os dois tipos analisados (natural e artificial de britagem), quando se observa que a areia artificial mostrou ganho de resistência percentual maior, tanto em relação aos traços com mais cimento, como para os traços com mais cal.

Percebeu-se que o agregado artificial na presença de cal teve um ganho percentual mais acentuado (86,91%), demonstrando maior afinidade entre estes materiais. O arranjo cristalino, permeabilidade dos vazios e fissuração do agregado artificial (gerada pelo processo de britagem) permitiram a entrada da

cal que, posteriormente, pôde se carbonatar fechando os poros permeáveis deste agregado. O cimento compôs uma matriz resistente que permitiu o confinamento da cal quando submetido aos esforços de compressão.

Quando se analisa sob o viés do traço ideal, percebe-se que, pela tendência, o comportamento da argamassa do traço ideal apresenta um aumento expressivo da resistência à compressão (aproximadamente de 20% para areia natural e 60% para o traço com areia artificial).

Com o objetivo de avaliar a significância da correlações realizou-se o teste ANOVA, conforme se verifica nas tabelas 44 e 45. Percebe-se que a correlações são significantes, logo existe uma variação considerável da resistência a compressão em relação ao tempo de cura.

Tabela 44 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia natural em relação ao tempo de cura.

<i>Propriedade</i>		<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>f_o</i>	<i>P valor</i>	<i>f_{0,05;1,7}</i>	<i>Situação</i>
Traço 1	Regressão	1	15133	15133	132	3,92.10 ⁻⁰⁹	4,49	*
	Resíduo	16	1839	115				
	Total	17	16972					
Traço 2	Regressão	1	12691,9	12691,9	47,44525	3,65.10 ⁻⁰⁶	4,49	*
	Resíduo	16	4280,1	267,5062				
	Total	17	16972					
Traço 3	Regressão	1	9639	9639,0178	21,0316	0,0003	4,49	*
	Resíduo	16	7332	458,3114				
	Total	17	16972					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e tempo de cura;

Tabela 45 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia artificial em relação ao tempo de cura.

<i>Propriedade</i>		<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>f_o</i>	<i>P valor</i>	<i>f_{0,05;1,7}</i>	<i>Situação</i>
Traço 1	Regressão	1	16347	16347	419,17	6,67.10 ⁻¹³	4,49	*
	Resíduo	16	624	39,00				
	Total	17	16972					
Traço 2	Regressão	1	16536	16536	607,93	3,72.10 ⁻¹⁴	4,49	*
	Resíduo	16	435	27,20				
	Total	17	16972					
Traço 3	Regressão	1	15243	15243	141,08	2,39.10 ⁻⁰⁹	4,49	*
	Resíduo	16	1728	108,05				
	Total	17	16972					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e tempo de cura;

Analisando o Gráfico 28 e Tabela 43, constata-se que os valores dos traços são bem próximo uns dos outros. Assim realizou-se o Teste t para amostras independentes para verificar se os traços apresentam valores de f_c iguais ou diferentes. Obteve-se os dados constantes na Tabela 46.

Tabela 46 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural - compressão.

	Valor de $t_{encontrado}$	gl	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	-5,862	34	$\pm 1,697$	*
2º nat. x 3º nat.	-6,908	34	$\pm 1,697$	*
1º art. x 2º art.	-6,845	34	$\pm 1,697$	*
2º art. x 3º art.	-3,206	34	$\pm 1,697$	*
1º nat. x 1º art.	-0,566	34	$\pm 1,697$	**
2º nat. x 2º art.	-0,189	34	$\pm 1,697$	**
3º nat. x 3º art.	1,785	34	$\pm 1,697$	*

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Analisando a Tabela 46, percebe-se que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, logo a metodologia permitiu a obtenção de três traços diferentes, que margeiam os parâmetros de dosagem. Quando se analisa os traços comparando os dois tipos de agregados, percebe-se que os dois traços mais ricos são semelhantes, logo os intervalos de confiança destes se sobrepõem. Pode-se afirmar, diante disto que a metodologia permite obter traços diferentes (dependendo do tipo de agregado), mas que representam valores semelhante quanto a f_c .

Quanto a classificação das argamassas pela ABNT NBR 13281: 2005 para a resistência compressão, tem-se desde P4 (média resistência) até P6 (alta resistência), demonstrando que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa qualidade quanto aos parâmetros exigidos.

O Gráfico 29 e Tabela 47 apresentam os resultados dos três traços básicos de argamassa de assentamento de alvenaria para a resistência à compressão.

Analisando o Gráfico 29 e Tabela 47, constata-se que a aproximação logarítmica e potencial foram as que mais se mostraram adequadas, permitindo estimar/interpolar os valores de f_c ao longo das idades da análise. Constatou-se pouca variação dos traços durante o período de análise, sendo que já aos 7 dias se obteve aproximadamente 75% da resistência final.

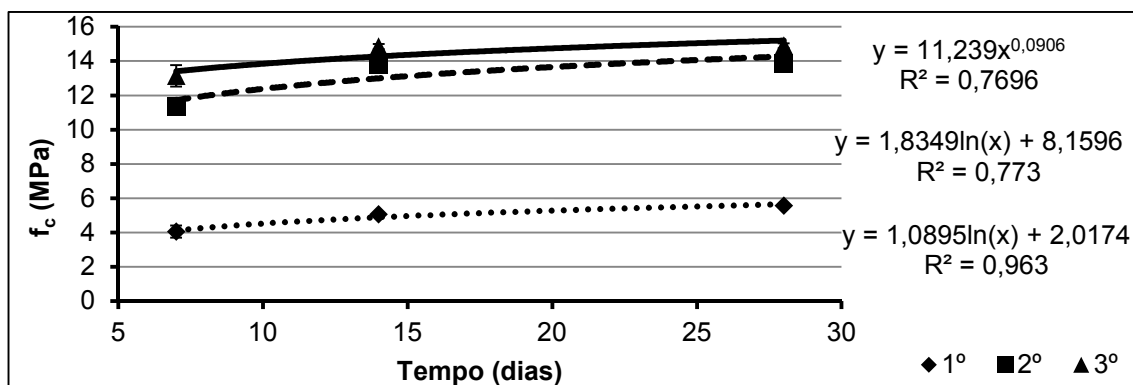


Gráfico 29 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão para as argamassas de assentamento de alvenaria.

Tabela 47 – Resultado ao longo da idade para a resistência à compressão dos traços de argamassas de assentamento de alvenaria.

Traço	Areia Natural			
	Idade (dias)	f_c (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)
1º Nat	7	4,05	0,36	
	14	5,06	0,07	24,96
	28	5,56	0,06	9,85
2º Nat	7	11,33	0,18	
	14	13,80	0,45	21,76
	28	13,88	0,21	0,57
3º Nat	7	13,14	0,63	
	14	14,85	0,15	13,01
	28	14,90	0,14	0,33

* Aumento percentual entre 7 dias e 14 dias.

** Aumento percentual entre 14 dias e 28 dias.

Pode-se realizar análises semelhantes ao traço de revestimento, no qual se percebe que o efeito do ganho de resistência promovido pelo cimento acontece nas primeiras idades. Como estes traços são mais ricos em cimento do que em cal, percebe-se que os ganhos de resistência são menores para idades após os 14 dias.

Uma vez que estes traços convergiram para o traço ideal na condição de laboratório, percebe-se que seriam admitidos pequenos atrasos na confecção dos corpos de prova das paredes de alvenaria, sendo permitido avaliar a resistência após a data de 14 dias de idade.

Com o objetivo de avaliar a significância das correlações realizou-se o Teste ANOVA, conforme se verifica na Tabela 48. Percebe-se que a correlações

são significantes, logo existe uma variação considerável da resistência a compressão em relação ao tempo de cura.

Analisando o Gráfico 29 e Tabela 47, constata-se que os valores dos traços são bem próximos uns dos outros. Assim realizou-se o Teste t para amostras independentes para verificar se os traços apresentam valores de f_c iguais ou diferentes. Foram obtidos estatisticamente os dados constantes na tabela 49.

Tabela 48 – ANOVA para regressão linear simples – argamassa para reboco com areia natural em relação ao tempo de cura.

<i>Propriedade</i>		<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>f_o</i>	<i>P valor</i>	<i>f_{0,05;1,7}</i>	<i>Situação</i>
Traço 1	Regressão	1	6,11	6,11	19,27	0,0005	4,49	*
	Resíduo	16	5,07	0,32				
	Total	17	11,19					
Traço 2	Regressão	1	15,018	15,018	13,124	0,002	4,49	*
	Resíduo	16	18,309	1,144				
	Total	17	33,327					
Traço 3	Regressão	1	7,166	7,166	6,395	0,022	4,49	*
	Resíduo	16	17,926	1,120				
	Total	17	25,091					

* Existe significância/dependência entre as propriedades e tempo de cura;

** Não se identificou significância/dependência entre as propriedades e o consumo deste material;

Tabela 49 – Teste t para argamassa para assentamento de alvenaria - compressão.

	Valor de <i>t_{encontrado}</i>	<i>gl</i>	<i>t_{tabelado}</i>	<i>Situação</i>
1º nat. x 2º nat.	-21,262	34	±1,697	*
2º nat. x 3º nat.	-2,965	34	±1,697	*

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Analisando a Tabela 49, percebe-se que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, logo a metodologia permitiu a obtenção de três traços diferentes e que estes contornam os parâmetros de dosagem.

8.5.2 Resistência à tração na flexão

O gráfico 30 e tabela 50 apresentam os resultados dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para resistência à tração na flexão.

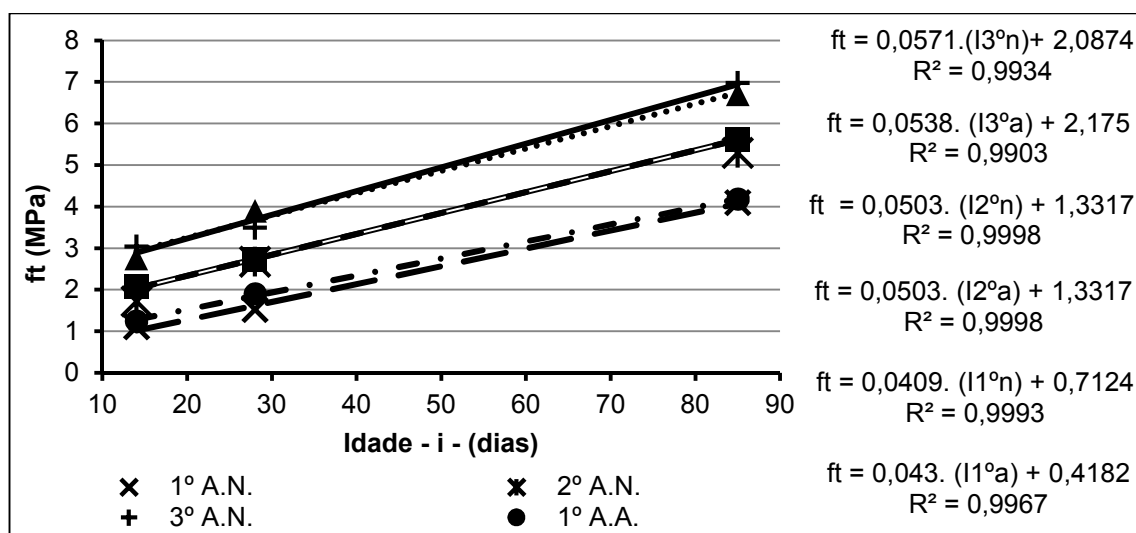


Gráfico 30 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Tabela 50 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão dos traços básicos para as argamassas de reboco – areias natural e artificial.

Traço	Areia Natural				Areia Artificial			
	Idade (dias)	f_t (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)	Idade (dias)	f_t (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)
1º Nat	14	1,10	0,05		1º Art	1,25	0,03	
	28	1,52	0,02	38,10 *		1,90	0,02	52,06 *
	85	4,09	0,10	169,10 **		4,18	0,11	119,89 **
2º Nat	14	1,72	0,05		2º Art	2,06	0,02	
	28	2,68	0,05	55,70 *		2,71	0,07	31,34 *
	85	5,30	0,07	97,94 **		5,62	0,28	107,36 **
3º Nat	14	3,04	0,07		3º Art	2,75	0,10	
	28	3,50	0,08	15,02 *		3,90	0,02	41,60 *
	85	6,98	0,10	99,58 **		6,70	0,28	71,94 **

* Aumento percentual entre 28 dias e 14 dias.

** Aumento percentual entre 85 dias e 28 dias.

Analisando o gráfico 30 e tabela 50, constata-se que a aproximação linear foi mais indicada para esta correlação, permitindo estimar/interpolar os

valores de f_t ao longo da idade da análise. Ressalta-se que, novamente, durante o período de teste não se identificou a estabilização das reações de carbonatação da cal, com previsão de crescimento positivo.

Para a resistência à tração na flexão a presença da cal promoveu, em todos dos traços, aumentos expressivos (dobro) nos valores desta propriedade, sendo maior nos traços mais ricos neste aglomerante (1º Nat. e 1º Art.). Já o efeito do cimento pode ser observado nos traços mais pobres neste material (1º Nat. e 1º Art.), nos quais o aumento se manifestou mais evidente até 28 dias de idade, chegando a 55,70%.

O agregado mostrou seus efeitos de forma mais intensa nesta propriedade, na qual o efeito do aumento de coesão promovido pelos finos do material no estado fresco permitiu aumentos consideráveis dos valores de f_t no estado endurecido.

Percebeu-se ainda, que as areias utilizadas mostraram ganho de resistência percentual maior em relação à compressão, tanto em relação aos traços com mais cimento, como para os traços com mais cal, convergindo para a consideração de que a forma mais esférica e a rugosidade dos grãos promoveu o melhor travamento entre a matriz cimentícia e o agregado, repercutindo no aumento de f_t .

Quanto à classificação das argamassas de acordo com a ABNT NBR 13281: 2005 para o ensaios de tração na flexão, tem-se desde R2 (média resistência) até R6 (alta resistência), demonstrando que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa qualidade quanto aos parâmetros que foram exigidos. Destaca-se que a propriedade foi a limitadora do traço ideal, logo, sua aferição correta permite a definição precisa do traços, ou seja, o caminho crítico da dosagem passa por esta propriedade.

Analisando o Gráfico 30 e Tabela 50, constata-se que os valores dos traços são bem próximos uns dos outros. Assim realizou-se o Teste t para amostras independentes para verificar se os traços apresentam valores de f_t iguais ou diferentes. Obteve-se os dados constantes na Tabela 51.

Tabela 51 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – tração na flexão.

	Valor de $T_{\text{encontrado}}$	g/l	T_{tabelado}	Situação
1º nat. x 2º nat.	-1,891	16	$\pm 1,746$	*
2º nat. x 3º nat.	-1,747	16	$\pm 1,746$	*
1º art. x 2º art.	-1,930	16	$\pm 1,746$	*
2º art. x 3º art.	-1,913	16	$\pm 1,746$	*
1º nat. x 1º art.	-0,316	16	$\pm 1,746$	**
2º nat. x 2º art.	-0,301	16	$\pm 1,746$	**
3º nat. x 3º art.	0,060	16	$\pm 1,746$	**

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo o valores são iguais;

Analisando a Tabela 51, percebe-se que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, novamente percebe-se o atendimento das condições da metodologia. Ao se analisar os traços comparando os dois tipos de agregados, comprova-se a visualização do gráfico, demonstrando que os resultados dos traços são semelhantes quanto a f_t , mesmo os traços apresentando composições e materiais diferentes.

O Gráfico 31 e Tabela 52 apresentam os resultados dos três traços básicos das argamassas de assentamento de alvenaria para a resistência à tração na flexão.

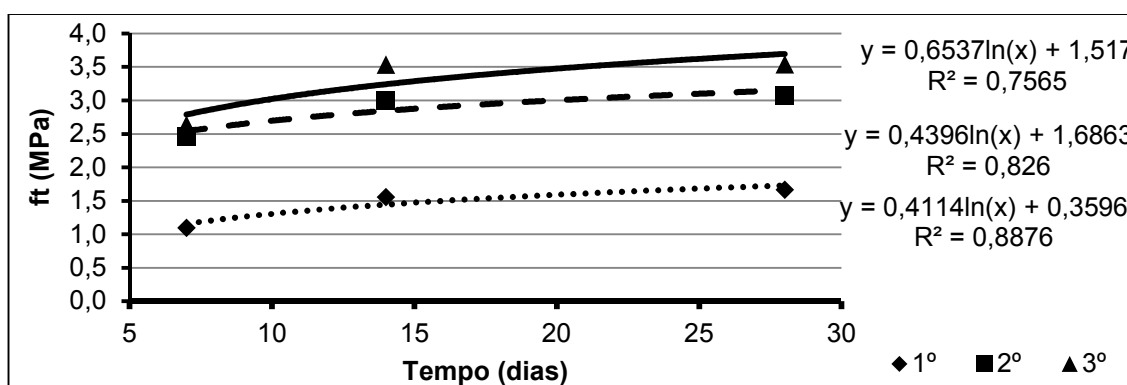


Gráfico 31 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão para as argamassas de assentamento de alvenaria.

Analisando o Gráfico 31 e Tabela 52, constata-se que a aproximação logarítmica e potencial foram as que mais se mostraram adequadas, permitindo estimar/interpolar os valores de f_t ao longo das idades da análise. Constatou-se uma variação mais acentuada até os 14 dias, e pouca variação dos traços

durante o período subsequente de análise. Destaca-se que aos 7 dias se obteve aproximadamente 70% da resistência final, demonstrando o efeito positivo do cimento utilizado.

Tabela 52 – Resultado ao longo da idade para a resistência à tração na flexão dos traços de argamassas de assentamento de alvenaria.

Traço	Areia Natural			
	Idade (dias)	f_t (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)
1° Nat	7	1,10	0,01	
	14	1,56	0,10	41,84
	28	1,67	0,03	7,00
2° Nat	7	2,46	0,14	
	14	3,01	0,12	22,22
	28	3,07	0,01	2,08
3° Nat	7	2,64	0,23	
	14	3,54	0,05	34,02
	28	3,55	0,10	0,22

* Aumento percentual entre 7 dias e 14 dias.

** Aumento percentual entre 14 dias e 28 dias.

Podem-se realizar análises semelhantes ao traço de revestimento, no qual se percebe que o efeito do ganho de resistência promovido pelo cimento acontece nas primeiras idades. Como estes traços são mais ricos em cimento do que em cal, percebe-se que os ganhos de resistência são menores para idades após os 14 dias.

Realizou-se novamente o Teste t para amostras independentes para verificar se os traços apresentam valores de f_t iguais ou diferentes. Obteve-se os dados constantes na tabela 53.

Tabela 53 – Teste t para argamassa para assentamento de alvenaria – tração na flexão.

	Valor de $t_{encontrado}$	g/l	$t_{tabelado}$	Situação
1° nat. x 2° nat.	-9,718	16	$\pm 1,697$	*
2° nat. x 3° nat.	-1,975	16	$\pm 1,697$	*

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo o valores são iguais;

Analisando a tabela 53, percebe-se que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, logo a metodologia permitiu a obtenção de três traços diferentes e que estes contornam os parâmetros de dosagem.

8.5.3 Módulo de elasticidade dinâmico e velocidade do pulso ultrassônico

Os gráficos 32 e 33 e as tabelas 54 e 55 apresentam os resultados dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para módulo de elasticidade dinâmico e velocidade do pulso ultrassônico.

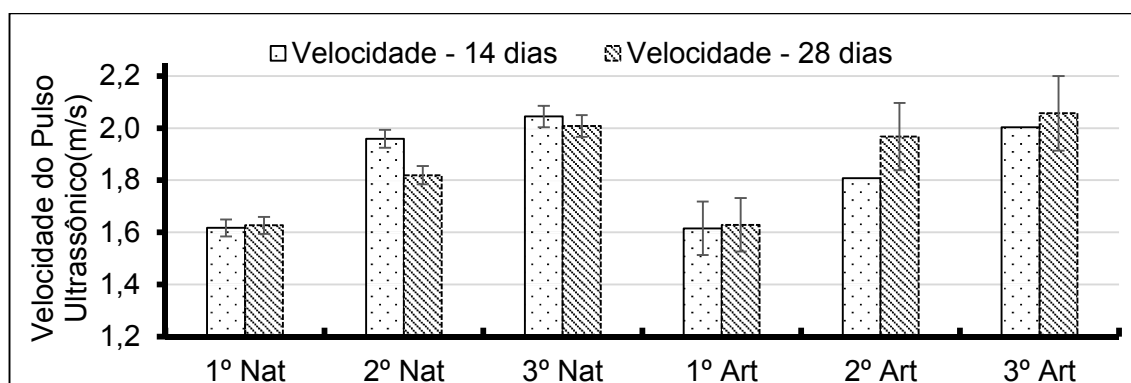


Gráfico 32 – Resultado ao longo da idade para a velocidade do pulso ultrassônico para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

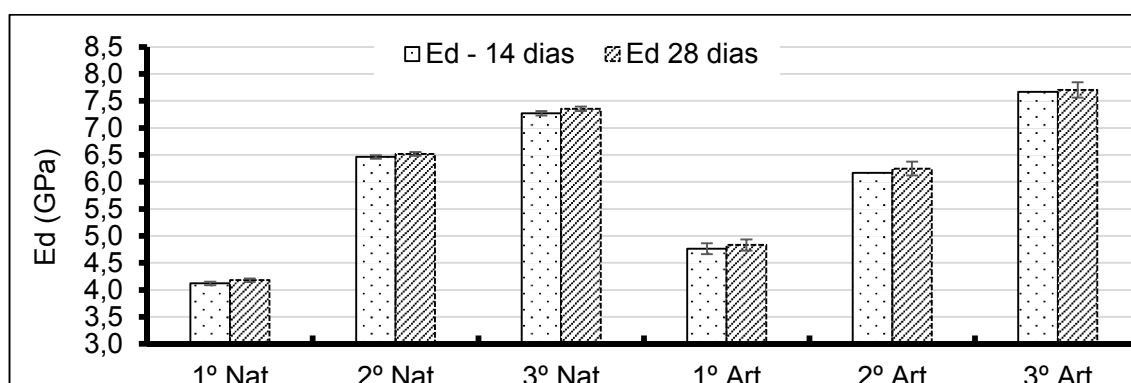


Gráfico 33 – Resultado ao longo da idade para o módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Tabela 54 – Resultado ao longo da idade para a velocidade do pulso ultrassônico do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – AA e AN.

Traço	Areia Natural				Areia Artificial				
	Idade (dias)	V (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)	Idade (dias)	V (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)	
1º Nat	14	1,617	0,014		1º Art	14	1,615	0,014	
	28	1,627	0,018	1,62 *		28	1,629	0,018	1,01 *
2º Nat	14	1,959	0,008		2º Art	14	1,807	0,022	
	28	1,819	0,019	0,93 *		28	1,968	0,019	1,09 *
3º Nat	14	2,044	0,012		3º Art	14	2,003	0,025	
	28	2,008	0,019	0,98 *		28	2,057	0,019	1,03 *

* Aumento percentual entre 28 dias e 14 dias.

Tabela 55 – Resultado ao longo da idade para o módulo de elasticidade dinâmico do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – AA e AN.

Traço	Areia Natural				Areia Artificial			
	Idade (dias)	E_d (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)	Idade (dias)	E_d (MPa)	Erro (MPa)	Aumento (%)
1° Nat	14	4,12	0,07		1° Art	4,76	0,11	
	28	4,18	0,03	1,01 *		4,83	0,10	1,01 *
2° Nat	14	6,46	0,05		2° Art	6,17	0,15	
	28	6,52	0,03	1,01*		6,25	0,13	1,01 *
3° Nat	14	7,27	0,09		3° Art	7,67	0,19	
	28	7,36	0,04	1,01 *		7,71	0,14	1,01 *

* Aumento percentual entre 28 dias e 14 dias.

Analisando os gráficos 32 e 33 e as tabelas 54 e 55, constata-se que os valores de velocidade do pulso ultrassônico e módulo de elasticidade variaram pouco ao longo das duas datas analisadas. Acredita-se que a condição dos poros e eliminação da água excedente no traço já ocorrera nas primeiras idades, convergindo para pouca variação em idades posteriores.

Para verificar a diferença entre os traços, realizou-se o Teste t para amostras independentes. Obteve-se os dados constantes na Tabela 56.

Tabela 56 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – módulo de elasticidade.

	Valor de $t_{encontrado}$	g/l	$t_{tabelado}$	Situação
1° nat. x 2° nat.	-8,536	14	$\pm 1,761$	*
2° nat. x 3° nat.	-7,227	14	$\pm 1,761$	*
1° art. x 2° art.	-36,454	14	$\pm 1,761$	*
2° art. x 3° art.	-9,129	14	$\pm 1,761$	*
1° nat. x 1° art.	5,771	14	$\pm 1,761$	**
2° nat. x 2° art.	-2,815	14	$\pm 1,761$	**
3° nat. x 3° art.	2,205	14	$\pm 1,761$	*

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Percebe-se pela Tabela 56, que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, novamente percebe-se o atendimento das condições da metodologia. Ao se analisar os traços comparando os dois tipos de agregados, comprova-se a visualização do gráfico, demonstrando que os resultados dos traços mais ricos são semelhantes quanto a E_d , mesmo os traços apresentados composições e materiais diferentes.

Logo pode-se afirmar que os agregados não mostraram efeitos significativos nesta propriedade, com valores e crescimento bem próximos.

Evidencia-se assim, que à medida que, se aumenta o consumo de cimento, as argamassas ficavam mais rígidas, aumentando o valor do módulo de elasticidade em aproximadamente 20% nos traços analisados. Aliado a isto, tem-se a presença da cal hidratada (CHI da ICAL) nos traços mais fracos, sendo que esta possui aditivo incorporador de ar aumentando os vazios e reduzindo o valor desta propriedade.

8.5.4 Absorção de água por capilaridade

As Tabelas 57 e 58 e o Gráfico 24 apresentam os resultados dos seis traços básicos e o traço ideal de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para absorção de água por capilaridade.

Tabela 57 – Resultado da absorção de água por capilaridade do traço adequado para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Traços	Absorção por capilaridade (g/cm ²)								CC (g/dm ² min ^{1/2})
	Tempo (minutos)								
	0	10	90	180	360	720	1440	4320	
1 - Nat	0,00	0,56	0,79	1,05	1,46	1,69	1,88	1,97	4,69 – C4
Erro	0,00	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,08
1 - Art	0,00	0,89	1,21	1,67	1,81	1,81	1,82	1,88	6,07 – C5
Erro	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,18

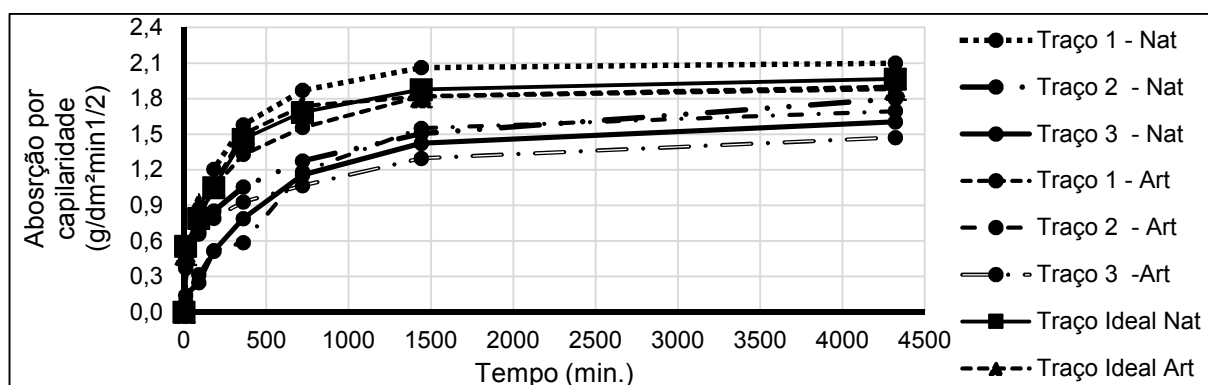


Gráfico 34 – Resultado ao longo da idade para a absorção de água por capilaridade para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Tabela 58 – Resultado da absorção de água por capilaridade para as argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Traços	Absorção por capilaridade (g/cm ²)								CC (g/dm ² min ^{1/2})
	Tempo (minutos)								
	0	10	90	180	360	720	1440	4320	
1 - Nat	0,00	0,37	0,82	1,21	1,58	1,87	2,06	2,10	8,70 – C5
Erro	0,00	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,00	0,01	0,11
2 - Nat	0,00	0,44	0,66	0,85	1,06	1,28	1,51	1,80	4,30 – C4
Erro	0,00	0,05	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05	0,06	0,08
3 - Nat	0,00	0,14	0,22	0,51	0,79	1,16	1,42	1,60	1,58 – C2
Erro	0,00	0,02	0,01	0,06	0,09	0,13	0,08	0,05	0,49
1 - Art	0,00	0,38	0,79	1,05	1,33	1,56	1,82	1,90	8,12 – C5
Erro	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,11
2 - Art	0,00	0,08	0,32	0,52	0,59	1,18	1,55	1,70	4,50 – C4
Erro	0,00	0,02	0,03	0,10	0,10	0,11	0,04	0,02	0,81
3 - Art	0,00	0,57	0,68	0,79	0,93	1,07	1,30	1,47	2,10 – C2
Erro	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04

Analisando o gráfico 34 e as Tabelas 57 e 58, durante o período de teste se identificou a estabilização da percolação capilar da água, permitindo assim identificar os valores de absorção de água por capilaridade de cada traço.

Diante disto, percebeu-se que a composição do traço interfere nesta propriedade, ou seja, ela reduz (aproximadamente 30%) com o aumento do consumo de cimento e aumento da resistência mecânica. Evidencia-se assim o fechamento dos poros ou a interceptação dos capilares pela hidratação do cimento. Para verificar a diferença entre os traços quanto a absorção por capilaridade, realizou-se o Teste *t* para amostras independentes nos dados coletados as 72 horas. Obteve-se os dados constantes na Tabela 59.

Tabela 59 – Teste *t* para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – absorção por capilaridade.

	Valor de $t_{encontrado}$	<i>gl</i>	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	4,565	6	±1,943	*
2º nat. x 3º nat.	2,414	6	±1,943	*
1º art. x 2º art.	4,628	6	±1,943	*
2º art. x 3º art.	5,427	6	±1,943	*
1º nat. x 1º art.	4,805	6	±1,943	*
2º nat. x 2º art.	1,533	6	±1,943	**
3º nat. x 3º art.	1,533	6	±1,943	**

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Percebe-se pela Tabela 59, que os traços são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, novamente percebe-se o atendimento das condições da metodologia. Ao se analisar os traços comparando os dois tipos de agregados, comprova-se a visualização do Gráfico 34, demonstrando que os resultados dos traços mais pobres são semelhantes quanto à absorção por capilaridade, mesmo os traços apresentando composições e materiais diferentes. Logo pode-se afirmar que os agregados não mostraram efeitos significativos nesta propriedade, com valores e crescimento bem próximos.

Quanto ao coeficiente de capilaridade, pode-se classificar as argamassas entre C2 e C5 (média capilaridade), logo as argamassas escolhidas apresentaram-se adequadas a estes parâmetros e permitiriam bom desempenho à edificação.

Para verificar se existe diferença entre os traços quanto ao coeficiente de capilaridade, realizou-se o Teste *t* para amostras independentes. Obteve-se os dados constantes na Tabela 60.

Tabela 60 – Teste *t* para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – coeficiente de capilaridade.

	Valor de $t_{encontrado}$	gl	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	32,490	6	±1,943	*
2º nat. x 3º nat.	23,508	6	±1,943	*
1º art. x 2º art.	4,416	6	±1,943	*
2º art. x 3º art.	2,947	6	±1,943	*
1º nat. x 1º art.	3,715	6	±1,943	*
2º nat. x 2º art.	-0,244	6	±1,943	**
3º nat. x 3º art.	-0,775	6	±1,943	**

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo o valores são iguais;

Os traços, segundo a Tabela 60, são diferentes entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, novamente percebe-se o atendimento das condições da metodologia. Quando se compara os dois tipos de agregados, demonstra-se que os resultados dos traços mais pobres são semelhantes quanto ao coeficiente de capilaridade.

8.5.5 Absorção de água por imersão e porosidade

Os Gráficos 35 e 36 e a Tabela 61 apresentam o resultado dos traços de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para absorção de água por imersão e porosidade.

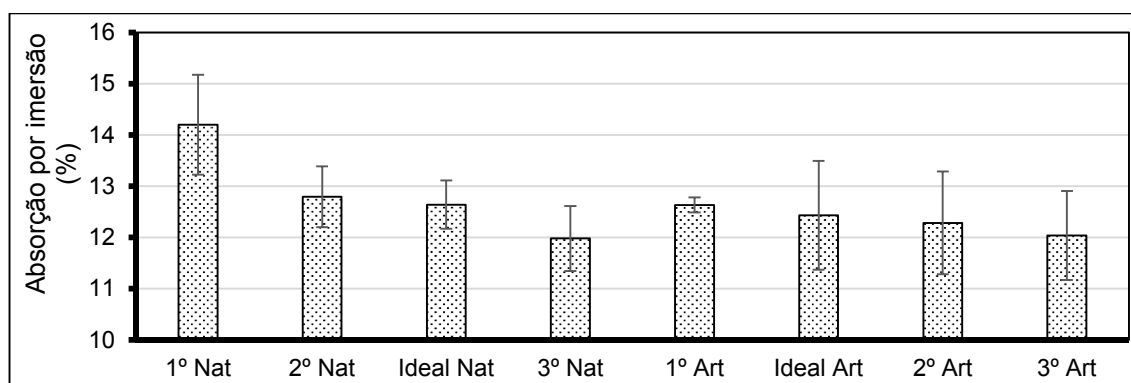


Gráfico 35 – Resultado ao longo da idade para a absorção por imersão para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Analisando os Gráficos 35 e 36 e a Tabela 61, constata-se pouca diferença entre os traços, sendo os valores praticamente iguais quando se considera o valor do erro padrão, com interpolação dos intervalos de confiança. A pequena diferença existente converge para condição de aumento da resistência mecânica e hidratação do cimento preenchendo os poros percoláveis pela água.

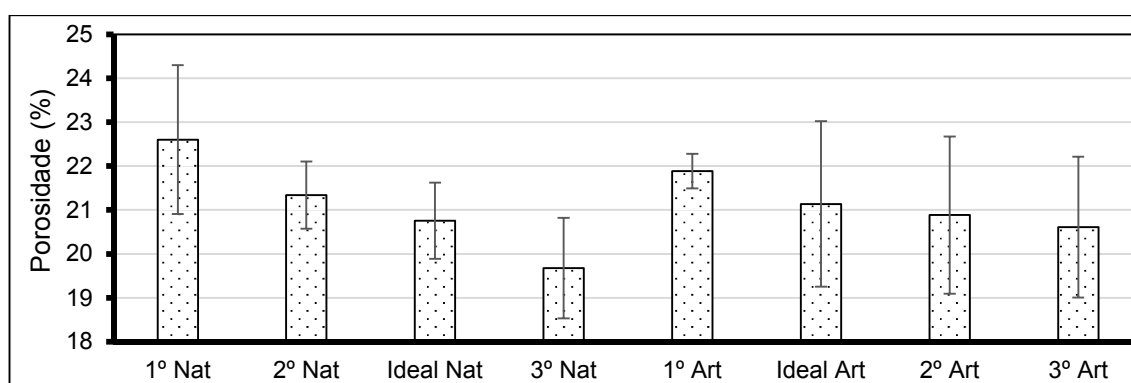


Gráfico 36 – Resultado ao longo da idade para a porosidade das argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Tabela 61 – Resultado da absorção (A_b) e Porosidade (P_r) para os traços de argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Traço	Areia Natural				Areia Artificial			
	A_b (%)	Erro (%)	P_r (MPa)	Erro (%)	A_b (%)	Erro (%)	P_r (MPa)	Erro (%)
1º Nat	14,20	0,96	22,60	1,69	12,63	0,15	21,89	0,40
2º Nat	12,79	0,59	20,46	1,13	12,28	1,00	20,89	1,79
3º Nat	11,98	0,63	19,68	1,15	12,03	0,87	20,61	1,61
T.Id *	11,88	0,16	21,30	0,14	12,35	0,10	20,55	0,27

* T.Id - Traço ideal.

As análises feitas para traços básicos se mostraram similares para o traço ideal (areia natural e areia artificial), demonstrando que o processo de dosagem convergiu para traços semelhantes, apesar dos materiais constituintes serem diferentes, logo, mais uma evidência da adequação desta proposta.

Analisando a absorção por imersão, de modo a verificar se existe diferença entre os traços, realizou-se o Teste t para amostras independentes, vide Tabela 62. Os traços, segundo a Tabela 62, são iguais entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material e os dois tipos de agregados, demonstra-se que os resultados dos traços estão dentro do mesmo intervalo de confiança, considerando uma confiabilidade de 95%.

Tabela 62 – Teste t para argamassa de reboco com areia artificial e natural – absorção por imersão.

	Valor de $t_{encontrado}$	gl	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	1,067	6	$\pm 1,943$	**
2º nat. x 3º nat.	0,815	6	$\pm 1,943$	**
1º art. x 2º art.	0,300	6	$\pm 1,943$	**
2º art. x 3º art.	0,160	6	$\pm 1,943$	**
1º nat. x 1º art.	1,376	6	$\pm 1,943$	**
2º nat. x 2º art.	0,380	6	$\pm 1,943$	**
3º nat. x 3º art.	-0,047	6	$\pm 1,943$	**

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Analisando do mesmo modo a porosidade, realizou-se o Teste t para amostras independentes, vide Tabela 63.

Tabela 63 – Teste *t* para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural - porosidade.

	Valor de $t_{encontrado}$	<i>gl</i>	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	0,910	6	±1,943	**
2º nat. x 3º nat.	0,427	6	±1,943	**
1º art. x 2º art.	0,473	6	±1,943	**
2º art. x 3º art.	0,099	6	±1,943	**
1º nat. x 1º art.	0,358	6	±1,943	**
2º nat. x 2º art.	-0,171	6	±1,943	**
3º nat. x 3º art.	-0,410	6	±1,943	**

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo o valores são iguais;

Os traços, segundo a Tabela 63, apresentam-se iguais entre si quanto à porosidade, seja quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material, ou os dois tipos de agregados, demonstra-se que os resultados dos traços estão dentro do mesmo intervalo de confiança, considerando uma confiabilidade de 95%

8.5.6 Teor de ar incorporado

O Gráfico 37 e Tabela 64 apresentam o resultado dos traços de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.) para teor de ar incorporado.

Analisando o Gráfico 37 e Tabela 64, verificou-se pouca diferença entre os traços (menos de 5%), optou-se então por analisar se existe diferença significativa entre os traços, realizando-se o Teste *t* para amostras independentes, vide tabela 65.

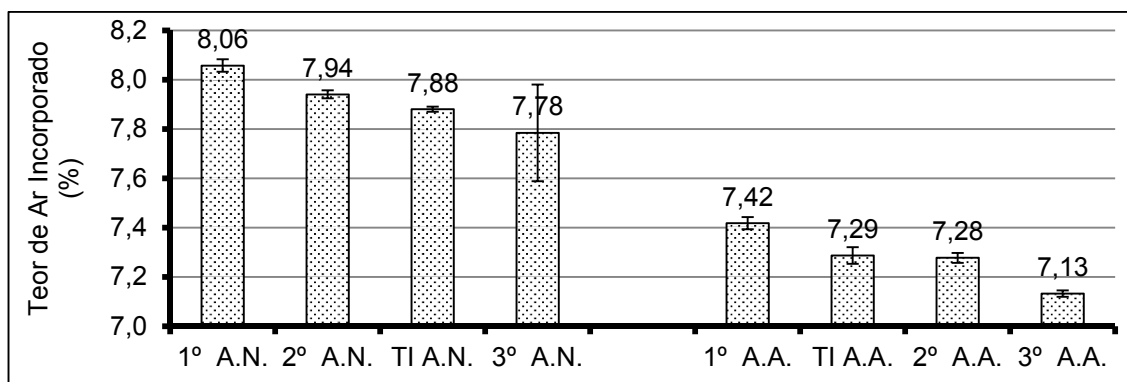


Gráfico 37 – Resultado ao longo da idade para o teor de ar incorporado para as argamassas de revestimento de reboco com areia natural e artificial.

Tabela 64 – Resultado do Teor de ar incorporado (T_{ar}) dos traços das argamassas para revestimento de reboco – areias natural e artificial.

Traço	Areia Natural		Areia Artificial	
	T_{ar} (%)	Erro (%)	T_{ar} (%)	Erro (%)
1º Nat	8,06	0,03	7,42	0,02
2º Nat	7,94	0,02	7,28	0,02
3º Nat	7,78	0,20	7,13	0,01
TI	7,88	0,01	7,29	0,02

Tabela 65 – Teste t para argamassa para reboco com areia artificial e areia natural – absorção por imersão.

	Valor de $t_{encontrado}$	gl	$t_{tabelado}$	Situação
1º nat. x 2º nat.	3,155	4	$\pm 2,132$	*
2º nat. x 3º nat.	0,650	4	$\pm 2,132$	**
1º art. x 2º art.	3,586	4	$\pm 2,132$	*
2º art. x 3º art.	4,982	4	$\pm 2,132$	*
1º nat. x 1º art.	14,667	4	$\pm 2,132$	*
2º nat. x 2º art.	21,050	4	$\pm 2,132$	*
3º nat. x 3º art.	2,704	4	$\pm 2,132$	*

* Pode-se afirmar com confiabilidade de 95% que os valores dos traços são diferentes;

** Hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores são iguais;

Analisando a Tabela 65, todos os traços são iguais entre si, quando se avalia as composições diferentes para o mesmo material e os dois tipos de agregados, com exceção do traço 2 e 3 com areia natural que apresentaram valores muito próximos. Percebe-se assim, que os resultados dos traços não estão dentro do mesmo intervalo de confiança, considerando uma confiabilidade de 95%, logo comprova-se estatisticamente que são diferentes.

Detectou-se que as argamassas com agregado artificial convergiram para valores de teor de ar incorporado menores que as com agregado natural. Este fato diverge dos dados encontrados para a massa específica no estado fresco, uma vez que se esperava que o aumento de ar incorporado convergiria para maior massa específica.

A justificativa encontra-se no consumo de cal, que para areia natural foi maior em função da menor massa específica unitária deste agregado. Conforme já detalhado no processo de dosagem, a presença de mais finos no agregado artificial permitiu um aumento de massa específica unitária, o que é plausível, pois estes finos ajudam na plasticidade da argamassa e, por estes parâmetros poderiam substituir a cal, o que aconteceu. Como a cal possuía um aditivo

incorporador de ar, nas argamassas com mais cal, houve maiores teores de vazios (porosidade) e absorção.

8.5.7 Análise de microestruturas por lupa estereoscópica e microscópio óptico

As Figuras de 8 (a), (b) e (c) e 9 (a), (b) e (c) apresentam as imagens por lupa estereoscópica dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.).

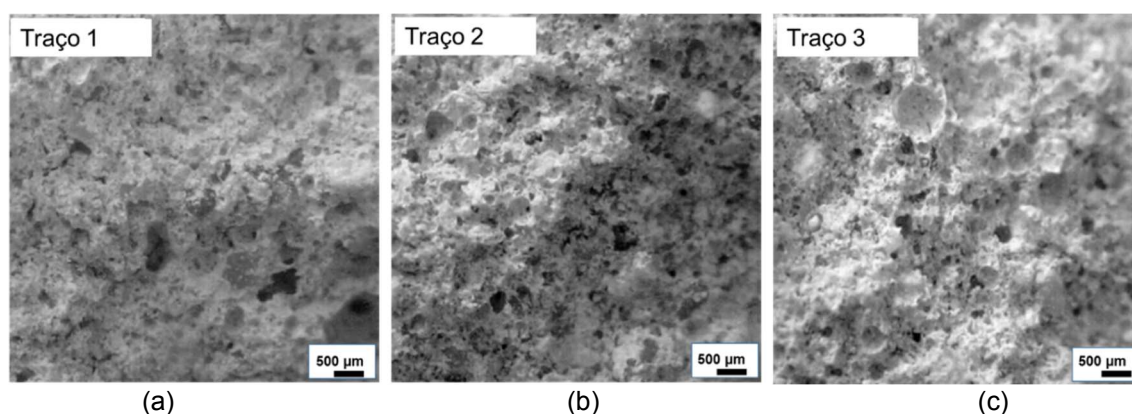


Figura 8 – Imagens de lupa estereoscópica das argamassas dos traços básicos (a) 1; (b) 2 e (c) 3 para o agregado natural.

Analisando as Figuras 8 (a), (b) e (c) e 9 (a), (b) e (c) com as imagens por lupa estereoscópica dos seis traços básicos de argamassa com areia natural (A.N) e com areia artificial (A.A.), constata-se a comprovação dos dados obtidos anteriormente a respeito da porosidade e das absorções avaliadas com os valores destas propriedades bem elevados para todos os traços.

Quando designadas, seguindo a classificação dos tamanhos da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), tem-se pelas imagens a visualização de muitos poros classificados como megaporos ($>7,5\mu\text{m}$), principalmente nos traços mais fracos.

Outro fato a se destacar é a interligação dos poros nos traços mais fracos, convergindo para maiores coeficientes de capilaridade ($\approx 8 \text{ g/dm}^2\text{min}^{1/2}$), embora ainda dentro dos limites de classificação da ABNT NBR 13281: 2005.

Isto não foi tão visível nos traços mais ricos em cimento, haja vista a existência de poros também grandes, porém não interligados, gerando menos capilares para passagem da água.

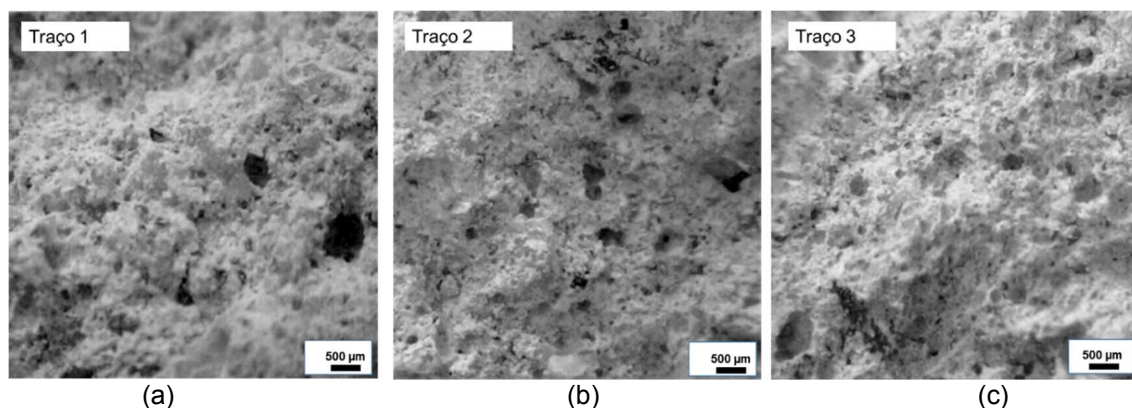


Figura 9 – Imagens de lupa estereoscópica das argamassas dos traços básicos (a) 1; (b) 2 e (c) 3 para o agregado artificial.

O mesmo processo foi realizado para as argamassas obtidas com o traço ideal, seja com areia natural ou artificial. As Figuras 10 (a) e (b) e 11 (a), (b) e (c) apresentam as imagens obtidas por lupa estereoscópica e microscópio óptico para a argamassa do traço ideal com areia natural. Destaca-se que foi utilizada a seção de corte levemente lixada, logo, alguns pontos aparecem desfocados devido às irregularidades da superfície.

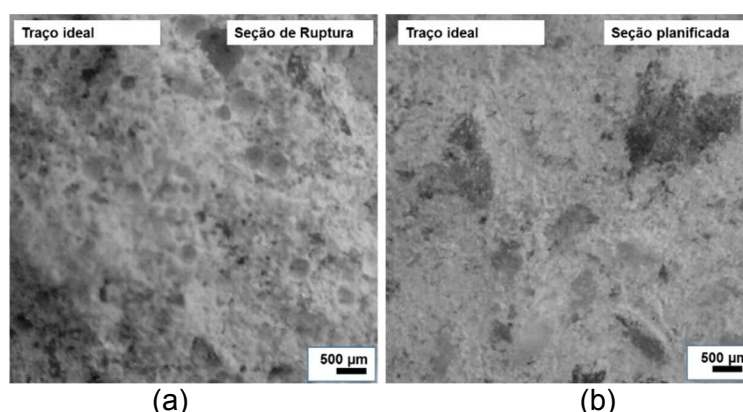


Figura 10 – Imagem de lupa estereoscópica do traço ideal da argamassa de revestimento com areia natural.

Analisando as Figuras 10 (a) e (b) e 11 (a), (b) e (c), constatam-se aspectos semelhantes aos encontrados para o traço 2 básico da areia natural, no qual se percebe um conjunto de poros classificados como megaporos

(>7,5 μm - IUPAC). Este poros convergem para coeficientes de capilaridade ($\approx 4 \text{ g/dm}^2\text{min}^{1/2}$) dentro dos limites da ABNT NBR 13281: 2005, conforme estabelecido no processo de dosagem. Todavia é possível perceber alguns poros isolados, o que demonstra que durante o processo de cura no interior da argamassa estes, em primeiro momento, podem conter ar ou água.

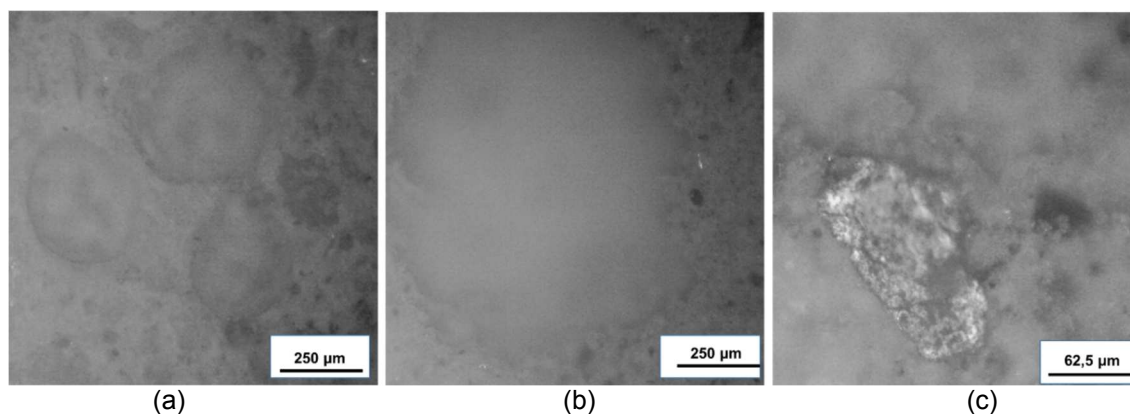


Figura 11 – Imagem de microscópio óptico com ampliação de 50, 100 e 200 vezes do traço ideal com areia natural.

Os poros que continham água acabam se unindo durante o processo de cura para permitir a evaporação do líquido (fator a/c elevado converge para grande quantidade de água saindo da mistura). O uso da cal controla esta saída devido ao efeito de retenção de água deste aglomerante. Os poros originados pelo aditivo incorporador de ar estão preenchidos por ar, e acabam se mantendo isolados, permitindo a redução das propriedades mecânicas, módulo de elasticidade e garantido uma estrutura mais estanque à água e agentes agressivos.

Pelas imagens do microscópio óptico é possível verificar a solidarização entre a matriz cimentícia e o agregado, com alguns mesoporos nesta interface. Destaca-se ainda, a visualização de um composto formado por poucos grãos de maior diâmetro, envoltos pela pasta hidratada e os agregados mais finos, funcionando como filler.

As Figuras 12 (a) e (b) e 13 (a), (b) e (c) apresentam as imagens obtidas por lupa estereoscópica e microscópio óptico para a argamassa do traço ideal com AA.

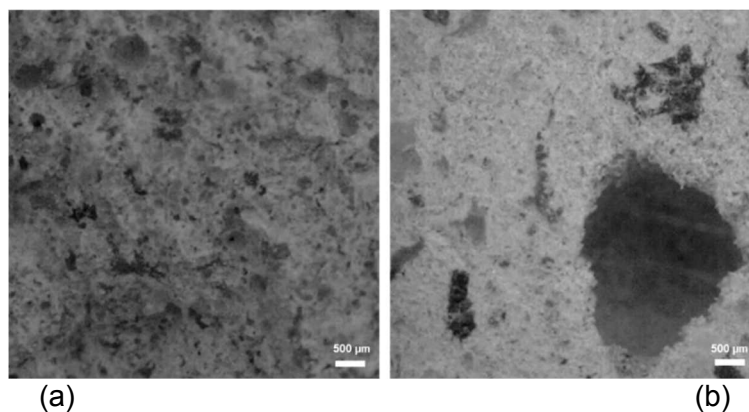


Figura 12 – Imagem de lupa estereoscópica do traço ideal.

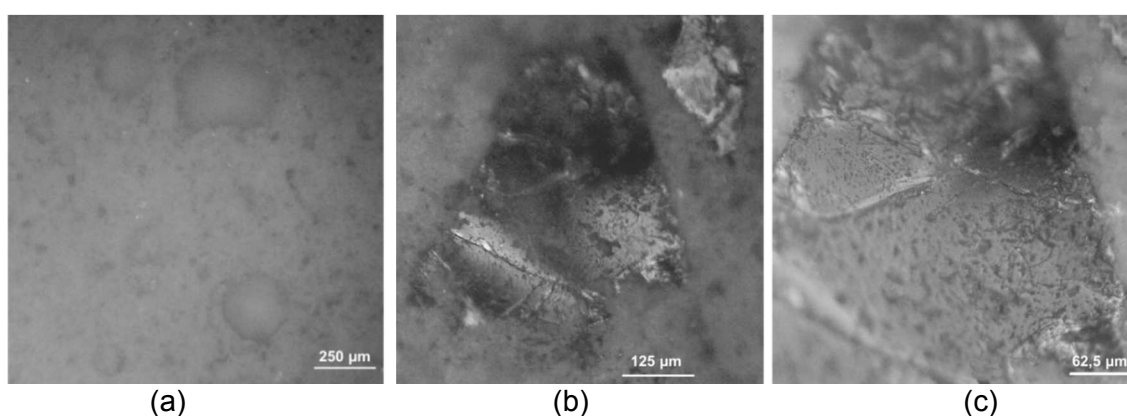


Figura 13 – Imagem de microscópio óptico com ampliação de 50, 100 e 200 vezes do traço ideal com areia artificial.

Analisando as Figuras 12 (a) e (b) e 13 (a), (b) e (c), constatam-se aspectos semelhantes aos encontrados para o traço 2 básico da areia artificial, no qual percebe-se um conjunto de poros classificados como megaporos ($>7,5\mu\text{m}$ - IUPAC). Esta condição converge para coeficientes de capilaridade ($\approx 6 \text{ g/dm}^2\text{min}^{1/2}$), dentro dos limites da ABNT NRB 13281: 2005, conforme estabelecido no processo de dosagem. Entretanto, é possível perceber vários poros isolados, o que demonstra que durante o processo de cura no interior da argamassa o efeito do aditivo foi mais expressivo para esta argamassa do que para aquela que possui areia natural.

Outro fato a se destacar é que os poros nas argamassas com areia artificial se apresentaram nas imagens com menores dimensões (menos da metade do diâmetro) o que demonstra que o efeito filler do material pulverulento pode ter trazido este benefício para estas argamassas.

Apesar dos valores serem próximos, percebe-se que as imagens corroboram com os resultados encontrados para porosidade e absorção por

capilaridade e por imersão. A porosidade e absorção por imersão, que dependem da presença de poros na superfície do corpo de prova e da permeabilidade destes no interior do composto, apresentaram valores menores para as argamassas com areia artificial. Quando se avalia a absorção por capilaridade, tem-se resultado contrário, o que é justificado pela redução dos diâmetros dos poros, o que permite a maior ascensão da água pelos capilares.

As imagens do microscópio óptico permitem verificar uma boa solidarização entre a matriz cimentícia e o agregado, não sendo visualizados poros nesta interface. Destaca-se também, a visualização de um composto formado por poucos grãos de maior diâmetro, envoltos pela pasta hidratada e os agregados mais finos, funcionando como filler.

As Figuras 14 (a), (b), (c) e (d) apresentam as imagens por lupa estereoscópica dos três traços básicos e do traço ideal para as argamassas de assentamento de alvenaria.

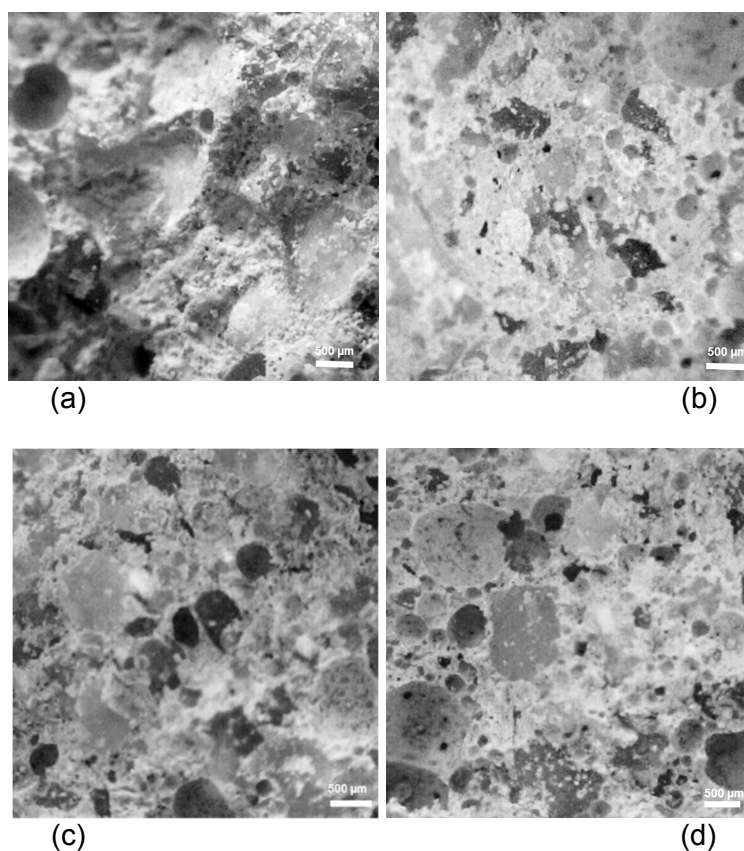


Figura 14 – Imagem de lupa estereoscópica: (a) traço 1; (b) traço 2; (c) traço 3 e (d) traço ideal da argamassa para assentamento de alvenaria estrutural.

Analisando as Figuras 14 (a), (b), (c) e (d), constatam-se aspectos semelhantes aos encontrados para os traços 2 de reboco, no qual percebe-se um conjunto de poros classificados como megaporos ($>7,5\mu\text{m}$ - IUPAC). Nestas observam-se várias gradações (tamanhos) de poros e a maioria se apresentando de forma isolada, convergindo para argamassas mais duráveis.

Nestas argamassas as resistências são maiores e se percebe nos traços dois, três e ideal alguns partículas rompidas, demonstrando que a resistência da matriz cimentícia está bem mais elevada.

8.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DOS TRAÇOS

Diante dos resultados e verificações experimentais desta parte do trabalho, e associada à metodologia de dosagem proposta, percebe-se que a metodologia de dosagem permitiu a estruturação de um proporcionamento de materiais de forma eficiente, convergindo para argamassas de boa qualidade e que atendem aos parâmetros técnico-científicos, normativos e às condições do local de uso.

Os resultados e imagens permitiram a confirmação e interação dos conceitos e conhecimentos abordados neste trabalho, comprovando a exequibilidade dos procedimentos e técnicas propostos e, acima de tudo, permitindo a ampliação do conhecimento acerca das argamassas de revestimento e de assentamento de alvenaria, principalmente no que tange ao processo de dosagem, influência dos constituintes neste compósito cimentício e as correlações e interdependências entre as propriedades analisadas.

8.7 PROPOSTA DE PLANILHA PARA EXECUÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO DE ALVENARIA

Nesta parte do trabalho serão apresentadas as janelas da planilha desenvolvida para otimizar a execução da dosagem segundo o processo proposto. Esta planilha eletrônica foi confeccionada de modo a orientar o

tecnologista quanto aos parâmetros que devem ser considerados na dosagem, tais como dados a inserir e como os resultados podem variar.

Os procedimentos consistem na entrada dos dados (características dos materiais e condicionantes das argamassas – estado fresco e endurecido) pelo profissional, gerando uma proposta de traços básicos. Estes serão confeccionados segundo os ensaios desejados e seus resultados inseridos na planilha eletrônica. Esta apresentará o traço ideal para as condições estipuladas no início do processo.

Neste se apresentará a dosagem para as condições estipuladas neste trabalho para argamassa de reboco com areia natural. Percebe-se ao analisar as imagens de 15 à 20, que a estrutura montada permite ao tecnologista facilidade na movimentação entre as planilhas, sendo estas bem claras e de fácil preenchimento. Optou-se por travar as células para impedir que ocorram erros de operação.

O teste dos dados e parâmetros da argamassa de revestimento de reboco com areia natural convergiram para um traço ideal bem próximo do encontrado durante esta pesquisa. Comprova-se assim, a aplicabilidade deste processo, permitindo maior rapidez e facilidade a tecnologistas e profissionais no tange a dosagem e argamassas segundo esta metodologia proposta.

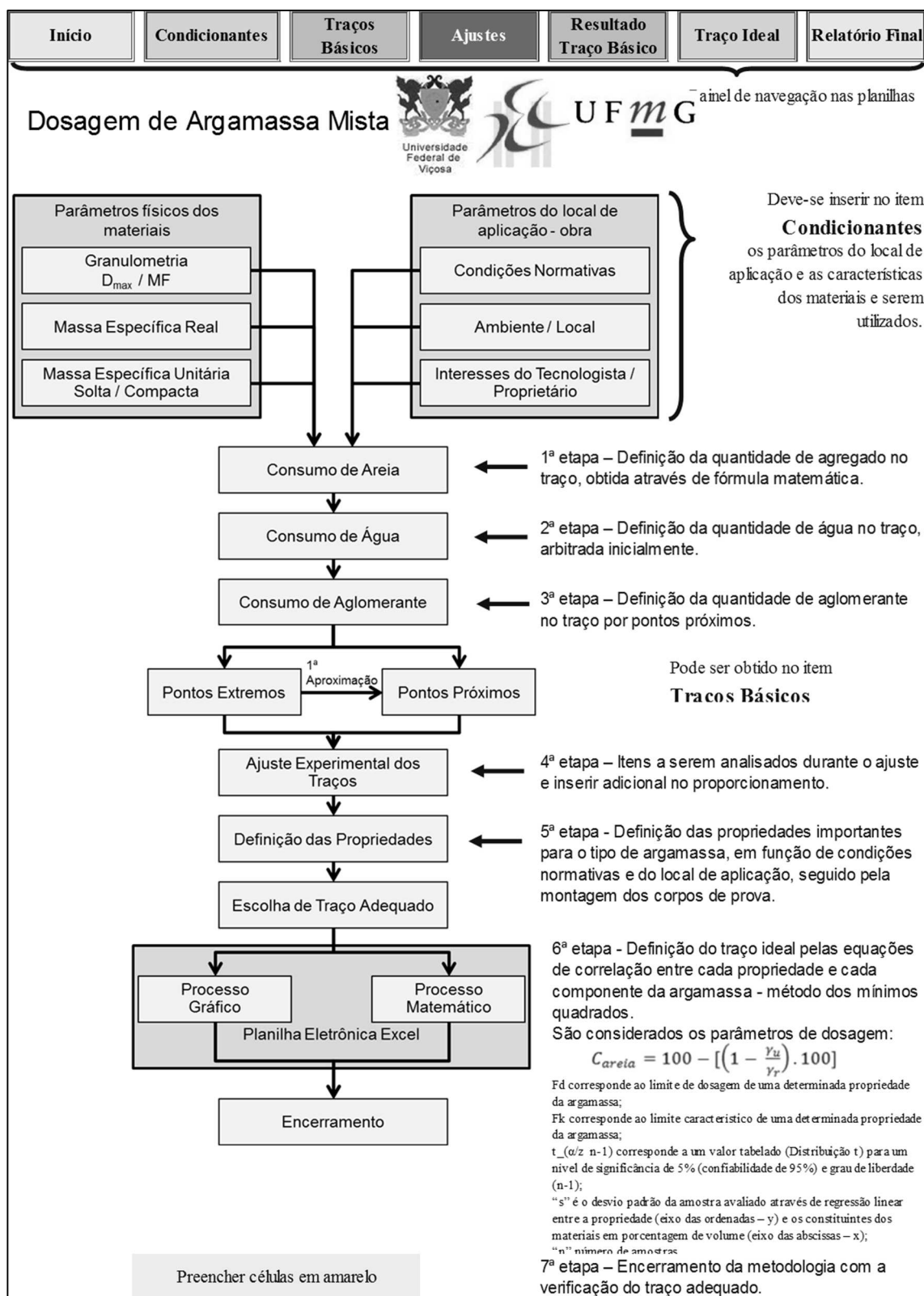


Figura 15 – Imagem da planilha principal, na qual estão as diretrizes e a sequência executiva da dosagem.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
CONDICIONANTES DA OBRA						
Tipo de obra =		Emboço	x	Reboco	Assentamento de Alvenaria	$C_{\text{água inicial}} (\%) = 15$
Características exigidas						
Compressão $f_c =$ MPa	4 *	Teor de ar incorporado = %		Consistência = mm	260 *	Faixas válidas $0 \leq f_c < 2$
Tração na flexão = MPa	2 *	Retenção de água = %		Módulo de elasticidade = GPa	7	$2 \leq f_c < 4$
Potencial de Aderência à tração = MPa	0,3	Tendência à fissurabilidade =		Outra () =		$4 \leq f_c < 10$
Coefficiente de Capilaridade =	7					$10 \leq f_c < 20$
Massa Específica - fresco = kg/l	1,6					$20 \leq f_c$
Massa Específica - endurecido = kg/l	1,4					*Obrigatório
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS						
7	CP-II-E-32	Granulometria - ABNT NBR 248: 2003				
Massa Específica Real (kg/l) =	3,15	Peneira (mm)	%Retida Acumulada			
Massa Específica Unitária (kg/l) =	1,70	9,5	0			
		6,3	0			
		4,8	0			
		2,4	0			
		1,2	0			
		0,6	15			
		0,3	51			
		0,15	82			
		Fundo	100			
Cal	CH-I	Situação D_{max} emboço 2,4 mm D_{max} reboco 1,2 mm D_{max} alvenaria 4,8 mm Z. U. Inferior Adequado Adequado Adequado Adequado				
Massa Específica Real (kg/l) =	2,80					
Massa Específica Unitária (kg/l) =	0,50					
Agregado Miúdo	Natural					
Massa Específica Real (kg/l) =	2,577					
Massa Específica Unitária Solta (kg/l) =	1,291					
Massa Específica Unitária Compacta (kg/l) =	1,439					
D_{max} (mm) =	1,2					
Módulo de Fimura =	1,48					
Material Pulverulento - % =	4,70					
Teores de Argila - % =	Isento					
Impureza orgânica % =	<300					
Absorção de água - % =	2,68					

Figura 16 – Imagem da 2ª planilha, na qual são inseridas as informações básicas dos materiais e condicionantes da obra.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
TRAÇOS BÁSICOS						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (kg) =	1,000	Cimento (kg) =	1,000	Cimento (kg) =	1,000	
Cal (kg) =	0,931	Cal (kg) =	0,564	Cal (kg) =	0,366	
Areia (kg) =	6,752	Areia (kg) =	4,727	Areia (kg) =	3,636	
Água (kg) =	1,261	Água (kg) =	0,882	Água (kg) =	0,679	
Características exigidas						
Juntos	Compressão 6 CPs = *	1	Teor de ar incorporado 3 CPs =	0		
	Tração na flexão 3 CPs = *	1	Consistência 3 CPs = *	1		
	Potencial de Aderência à tração 3 CPs =	1	Retenção de água 3 CPs =	0		
	Coefficiente de Capilaridade 5 CPs =	1	Módulo de elasticidade 5 CPs =	1		
	Massa Específica - fresco 5 CPs =	1	Tendência à fissurabilidade 3 CPs =	1		
	Massa Específica - endurecido 5 CPs =	1	Outra () =	0		
*Obrigatório						
QUANTIDADE DE ARGAMASSA POR TRAÇO						
0,021843 m ³						
QUANTIDADE DE MATERIAIS EM KILOGRAMA - para moldagem dos corpos de prova						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (kg) =	4,821	Cimento (kg) =	6,752	Cimento (kg) =	8,608	
Cal (kg) =	4,489	Cal (kg) =	3,805	Cal (kg) =	3,147	
Areia (kg) =	32,554	Areia (kg) =	31,913	Areia (kg) =	31,296	
Água (kg) =	6,077	Água (kg) =	5,957	Água (kg) =	5,842	
QUANTIDADE DE MATERIAIS EM LITROS - para moldagem dos corpos de prova						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (litros) =	2,836	Cimento (litros) =	3,972	Cimento (litros) =	5,063	
Cal (litros) =	8,978	Cal (litros) =	7,609	Cal (litros) =	6,294	
Areia (litros) =	22,623	Areia (litros) =	22,177	Areia (litros) =	21,749	
Água (litros) =	6,077	Água (litros) =	5,957	Água (litros) =	5,842	
QUANTIDADE DE MATERIAIS PARA UM SACO DE CIMENTO						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (saco 50kg) =	1,000	Cimento (saco 50kg) =	1,000	Cimento (saco 50kg) =	1,000	
Cal (saco 20kg) =	2,328	Cal (saco 20kg) =	1,409	Cal (saco 20kg) =	0,914	
Areia (litros) =	234,622	Areia (litros) =	164,236	Areia (litros) =	126,335	
Água (litros) =	63,025	Água (litros) =	44,118	Água (litros) =	33,937	
Padiola de areia =	6	24,8 cm	5	20,9 cm	4	20,1 cm
43x35 cm						

Figura 17 – Imagem da 3ª planilha, em que são obtidas as informações dos traços básicos.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
						
INFORMAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DOS AJUSTES DOS TRAÇOS						
Deve-se colocar a água aos poucos até atingir a consistência desejada (definição inicial da água 15%±5% - varia com o tipo de agregado, forma de aplicação e profissional)						
Verificar a exsudação ou falta de coesão - A água fica aflora na superfície da argamassa - A argamassa apresenta-se segregando - pouca "liga" Colocar mais aglomerante Reduzir a quantidade de agregado Inserção de finos Peneirar a areia e refazer a dosagem						
Verificar coesão excessiva - A argamassa apresenta-se com muita "liga" - A argamassa fica grudada na colher de pedreiro úmida Colocar mais agregado Reduzir a quantidade de aglomerante Peneirar para retirar finos						
Argamassa muito aspera - A argamassa apresenta-se com muitas partículas grandes - A argamassa não permite o acabamento desejado Peneirar a areia de modo a atender o D _{max} estipulado no início Compor a medida com outra areia mais finas						
Inserção de aditivos e adições - Deve-se colocar os aditivos aos poucos conforme especificação do fabricante e interesses do tecnologista; - Aditivos plastificantes devem ser inserido junto com água que deve ser colocada aos poucos até atender a plasticidade; - Adições devem ser previstas e colocadas junto aos materiais durante a mistura e indicado no traço ajustado;						
AJUSTES DOS TRAÇOS						
	TRAÇO BÁSICO 1			TRAÇO BÁSICO 2		
	Previsto	Adicional		Previsto	Adicional	
Cimento (kg) =	4,821		kg	6,752		kg
Cal (kg) =	4,489		kg	3,805		kg
Areia (kg) =	32,554		kg	31,913		kg
Água (kg) =	6,077	0,00399	kg	5,957	0,00184	kg
Cimento (litros) =	2,836		ℓ	3,972		ℓ
Cal (litros) =	8,978		ℓ	7,609		ℓ
Areia (litros) =	22,623		ℓ	22,177		ℓ
Água (litros) =	6,077		ℓ	5,957		ℓ
Cimento (saco 50kg) =	1,000		ℓ	1,000		ℓ
Cal (saco 20kg) =	2,328		ℓ	1,409		ℓ
Areia (litros) =	234,622		ℓ	164,236		ℓ
Água (litros) =	63,025		ℓ	44,118		ℓ
Preencher somente o processo de dosagem executado pelo tecnologista						
TRAÇOS BÁSICOS AJUSTADOS						
	TRAÇO BÁSICO 1			TRAÇO BÁSICO 2		
Cimento (kg) =	1,000		Cimento (kg) =	1,000		Cimento (kg) =
Cal (kg) =	0,931		Cal (kg) =	0,564		Cal (kg) =
Areia (kg) =	6,752		Areia (kg) =	4,727		Areia (kg) =
Água (kg) =	1,261		Água (kg) =	0,883		Água (kg) =
	TRAÇO BÁSICO 3			TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (kg) =	1,000		Cimento (kg) =	1,000		Cimento (kg) =
Cal (kg) =	0,366		Cal (kg) =	0,366		Cal (kg) =
Areia (kg) =	3,636		Areia (kg) =	3,636		Areia (kg) =
Água (kg) =	0,679		Água (kg) =	0,679		Água (kg) =

Figura 18 – Imagem da 4ª planilha, na qual obtém as informações dos ajustes e se insere os adicionais, se houve, nos traços básicos.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
RESULTADOS DOS TRAÇOS BÁSICOS						
ENSAIOS		Compressão				
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 1	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1	5,0	4,76	0,15	0,06	Experimento Aprovado	
2	4,9					
3	4,5					
4	4,7					
5	4,8					
6	4,8					
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 2	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1	8,4	8,41	0,66	0,27	Experimento Aprovado	
2	7,4					
3	8,6					
4	7,8					
5	8,8					
6	9,4					
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 3	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1	13,5	13,64	0,10	0,04	Experimento Aprovado	
2	13,8					
3	13,6					
4	13,6					
5	13,6					
6	13,7					
ENSAIOS		Tração na Flexão				
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 1	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1	1,6	1,52	0,04	0,02	Experimento Aprovado	
2	1,5					
3	1,5					
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 2	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1	2,5	2,68	0,15	0,06	Experimento Aprovado	
2	2,7					
3	2,9					

Figura 19 – Imagem da 5ª planilha, na qual se insere os resultados das propriedades dos traços básicos.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final	
Dosagem de Argamassa Mista							
DEFINIÇÃO DO TRAÇO IDEAL							
		C _{cim} (%)	C _{cal} (%)	C _{areia} (%)	C _{água} (%)		
Limite Inferior	Resistência à Compressão (MPa)	5,33	7,65	21,54	55,81	15,00	100,00
Limite Inferior	Resistência à Tração na flexão (MPa)	2,447	8,76	19,70	56,39	15,15	100,00
Limite Inferior	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	0,39	10,30	18,95	56,27	14,48	100,00
Limite Superior	Coefficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	6,64	8,52	20,59	55,88	15,02	100,00
Limite Inferior	Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)	6,33	11,22	17,87	55,89	15,02	100,00
Limite Superior	Densidade de massa no estado endurecido (kg/l)	1,44	7,00	22,16	55,83	15,01	100,00
Limite Superior	Densidade de massa no estado fresco (kg/l)	1,61	7,00	22,16	55,83	15,01	100,00
Limite Superior	Teor de ar incorporado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Propensão à fissurabilidade	1754,10	11,08	16,91	56,75	15,25	100,00
Limite Superior	Retenção de água (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Inferior	Outra () =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRAÇO IDEAL							
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)							
Limite		C _{cim} (%)	C _{cal} (%)	C _{areia} (%)	C _{água} (%)		
0,39		10,30	18,95	56,27	14,48		100,00
		(l)	(l)	(l)	(l)		
		1,000	1,840	5,465	1,406		
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)		
		1,000	0,541	4,150	0,827		

Figura 20 – Imagem da 6ª planilha, em que são obtidas as informações sobre o traço ideal.


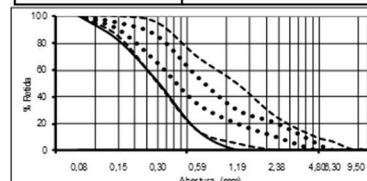
Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final																				
Logo da Empresa	Dosagem de Argamassa Mista Processo SANTOS (2014)																									
Nome da empresa : _____																										
Responsável pela dosagem: _____																										
Data de início: ____/____/____ Data de Término: ____/____/____																										
Cliente: _____																										
RELATÓRIO DO TRAÇO																										
Tipo de obra =	Emboço	<input checked="" type="checkbox"/> Reboco	Assentamento de Alvenaria																							
CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS																										
Compressão = 4		Teor de ar incorporado = 0		Consistência = 260																						
Tração na flexão = 2		Retenção de água = 0		Módulo de elasticidade = 7																						
Potencial de Aderência à tração = 0,3		Tendência à fissurabilidade = 2500		Outra (_____) = 0																						
Coeficiente de Capilaridade = 7																										
Massa Específica - fresco = 1,6																										
Massa Específica - endurecido = 1,4																										
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS																										
Cimento CP-II-E-32		Granulometria - ABNT NBR 248:2003																								
Massa Específica Real (kg/l) = 3,150				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peneira (mm)</th> <th>% Retida Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9,5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6,3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4,8</td><td>0</td></tr> <tr><td>2,4</td><td>0</td></tr> <tr><td>1,2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>15</td></tr> <tr><td>0,3</td><td>51</td></tr> <tr><td>0,15</td><td>82</td></tr> <tr><td>Fundo</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>			Peneira (mm)	% Retida Acumulada	9,5	0	6,3	0	4,8	0	2,4	0	1,2	0	0,6	15	0,3	51	0,15	82	Fundo	100
Peneira (mm)	% Retida Acumulada																									
9,5	0																									
6,3	0																									
4,8	0																									
2,4	0																									
1,2	0																									
0,6	15																									
0,3	51																									
0,15	82																									
Fundo	100																									
Massa Específica Unitária (kg/l) = 1,700																										
Cal CH-I																										
Massa Específica Real (kg/l) = 2,800																										
Massa Específica Unitária (kg/l) = 0,500																										
Agregado Miúdo Natural		Situação																								
Massa Específica Real (kg/l) = 2,577		Z. U. Inferior																								
Massa Específica Unitária Solta (kg/l) = 1,291		Adequado																								
Massa Específica Unitária Compacta 1,439		Adequado																								
D _{max} (mm) = 1,2		Adequado																								
Módulo de Fimura = 1,48		Adequado																								
Material Pulverulento - % = 4,7																										
Teores de Argila - % = Isento																										
Impureza orgânica % = <300																										
Absorção de água - % = 2,68																										
TRAÇO IDEAL																										
TRAÇO Unitário (massa)		TRAÇO em volume (litros)		TRAÇO por saco de cimento																						
Cimento (kg) =	1,000	Cimento (litros) =	1,000	Cimento (saco 50kg) =	1																					
Cal (kg) =	0,541	Cal (litros) =	1,840	Cal (saco 20kg) =	1,4																					
Areia (kg) =	4,150	Areia (litros) =	5,465	Areia (litros) =	161																					
Água (kg) =	0,827	Água (litros) =	1,406	Água (litros) =	41																					
				Padiola de areia =	5 20,4 cm																					
QUANTIDADE DE MATERIAL PARA ATIVIDADE:				Reboco de fachada (3x80x0,005)																						
Volume de argamassa =				1,200 m ³																						
Massa (kg)		Volume (litros)		Compra - 10% de perda																						
Cimento (kg) =	407	Cimento (litros) =	239	Cimento (saco 50kg) =	9																					
Cal (kg) =	220	Cal (litros) =	441	Cal (saco 20kg) =	12																					
Areia (kg) =	1689	Areia (litros) =	1308	Areia (m ³) =	1,4																					
Água (kg) =	337	Água (litros) =	337	Água (litros) =	370																					

Figura 21 – Imagem da 7ª planilha, na qual se apresentam o traço ideal, resumo das características de dosagem e se pode inserir uma condição de obra que para definição da quantidade e material.

9 CONCLUSÃO

9.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescimento e evolução da construção civil associados à demanda mais exigente dos clientes impulsionam empresas e profissionais à utilização de técnicas, procedimentos e materiais mais eficientes e duráveis. Para a otimização do uso dos materiais de construção, é exigido um conjunto de propriedades, que são provenientes de padrões normativos, condições de uso e adequação ao local de uso.

Este trabalho buscou apresentar e validar uma proposta de metodologia de dosagem para argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, baseada nos conceitos/características dos materiais e condicionantes de uso.

Constata-se que houve êxito no trabalho e que os resultados convergiram para a validação da proposta. Assim, apresentam-se nos itens posteriores as principais conclusões obtidas em cada parte do trabalho, e como as mesmas comprovam a validação e eficiência da metodologia de dosagem proposta.

9.2 METODOLOGIA DE DOSAGEM

A metodologia de dosagem proposta corresponde a um conjunto de atividades sequenciais e exequíveis, que permitam ao tecnólogo de materiais obter um proporcionamento eficiente e adequado às condições de uso da argamassa. A metodologia proposta é composta por sete etapas, das quais pode-se concluir:

1ª etapa – Definição da quantidade de agregado no traço

O modelo matemático permite a obtenção de argamassas com boa coesão devido a adequada relação aglomerante/agregado, gerando argamassas de comprovada qualidade e eficiência.

2ª etapa – Definição da quantidade de água no traço

Conclui-se que a definição arbitrária inicialmente proposta no trabalho se apresentou como boa aproximação do fator água/cimento, cujo aumento não foi superior a 15% na primeira avaliação na areia natural, e chegou a 25% na areia artificial.

3ª etapa – Definição da quantidade de aglomerante no traço

Percebeu-se que os pontos próximos são uma boa maneira de se obter o consumo de aglomerantes e permitem encontrar a quantidade de cimento e cal com cálculos simples e rápidos. Destaca-se o efeito positivo do uso de planilhas automáticas como elemento facilitador no processo.

Possível inexperiência do tecnologista pode gerar certa dificuldade nesta fase, sendo indicada a utilização dos pontos extremos para realizar as devidas aproximações do traço ideal. Indica-se também o uso de mais traços (acima de 3), o que pode melhorar a curva de aproximação e precisão do método.

4ª etapa - Ajuste experimental dos traços básicos

Constatou-se que as diretrizes sugeridas são eficientes para avaliação dos parâmetros de dosagem. Sugere-se para trabalhos futuros, que as utilizem, a realização dos ajustes em condições semelhantes àquelas que as argamassas estarão submetidas no momento da mistura e aplicação, para que os parâmetros e propriedades possam ser confirmados e mantidos constantes, garantindo a qualidade destes compósitos na obra.

5ª etapa - Definição das propriedades

Foi observado que este parâmetro é bastante variável em função dos condicionantes do local e interesses do tecnologista, porém a metodologia proposta é flexível e atende de forma abrangente a uma ou várias condições de uso.

Destaca-se que esta etapa também é uma inovação, uma vez que as argamassas passam a ser dosadas e especificadas em função destas propriedades, que podem ser de caráter mecânico, de durabilidade, estético ou algo de interesse dos profissionais e/ou clientes envolvidos no processo.

6ª etapa - Definição do traço ideal

Constatou-se que tanto o processo por análise dos gráficos, como pelas equações de correlação são eficientes e convergem para os traços mais adequados para os condicionantes de cada situação. O trabalho estatístico permitiu a avaliação da confiabilidade dos dados e a definição das características de dosagem de modo a garantir a confiabilidade de 95% dentre os parâmetros definidos no início do processo, e erros experimentais encontrados durante o experimento.

Percebe-se diante disto, que o método considera a variabilidade que pode ser encontrada nos diversos tipos de produção de argamassa (laboratório, fábricas, obras, entre outros) permitindo que a dosagem se ajuste aos parâmetros de produção e garanta a confiabilidade em função destes condicionantes, o que torna a metodologia mais abrangente e flexível.

7ª etapa – Ajuste Final

Nesta etapa, este trabalho buscou a validação da metodologia, com a verificação do traço adequado quanto às propriedades exigidas. Percebeu-se e comprovou-se, técnico-cientificamente e estatisticamente, que a metodologia permite a obtenção de traços de argamassas dentro dos intervalos de confiança de cada parâmetro, ou seja, argamassas com qualidade comprovada em relação ao atendimento dos requisitos de dosagem. As análises e testes estatísticos validaram os resultados e procedimentos definidos ao longo da metodologia, tornando-a mais confiável e representativa.

De forma geral, pode-se afirmar que a metodologia é viável, confiável e eficiente, com parâmetros e condições de aplicação exequíveis em laboratórios, fábricas, ou em obras, uma vez que corresponde a atividades simples que permitem obter os dados desejados com confiabilidade de 95%.

Destaca-se que as inovações propostas neste trabalho são a forma de obtenção dos teores de cada componente (itens de 7.3.1 até 7.3.3.3) e a forma de obtenção do traço adequado através de curvas de aproximação por planilhas eletrônicas (itens 7.4.6). Os procedimentos propostos, promovem uma nova visão acerca das argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, demonstrando como os constituintes interferem nas propriedades destes

compósitos, seja no estado fresco ou endurecido, e que a escolha do traço adequado, baseada em parâmetros técnico-científicos se mostra muito mais adequada, convergindo para materiais mais econômicos (menor consumo de aglomerante), duráveis (dependência entre resistência, módulo de elasticidade, porosidade, absorção e as condições do local de aplicação) e sustentáveis (materiais mais eficientes e duráveis).

9.3 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES

Os resultados experimentais e verificações estatísticas, associados à metodologia de dosagem proposta, permitiram a estruturação de um proporcionamento de materiais de forma eficiente, convergindo para argamassas de boa qualidade e que atendem aos parâmetros técnicos-científicos, normativos e às condições do local. A partir desta afirmação, apresentam-se a seguir as principais conclusões acerca de cada propriedade analisada.

Resistência à compressão axial

Percebe-se que a resistência é influenciada pelo teor dos componentes das argamassas. O cimento mostrou influência mais significativa nas primeiras idades (28 dias – aproximadamente 50% de ganho) e a cal em idades mais avançadas (85 dias – 86,91% de ganho).

Constatou-se que o agregado também influenciou nas argamassas com ganhos mais expressivos para a areia artificial, tendo destaque o efeito filler promovido pelos finos deste agregado.

Sob análise do traço ideal, percebe-se a tendência de comportamento da argamassa em apresentar um aumento expressivo da resistência à compressão (aproximadamente de 20% para areia natural e 60% para o traço com areia artificial) demonstrando que os limites estão garantidos pela própria evolução de cura e carbonatação deste compósito.

Quando classificadas quanto à ABNT NBR 13281: 2005 para a resistência à compressão, tem-se desde argamassas P4 (média resistência) até

P6 (alta resistência), logo, argamassas de boa qualidade quanto aos parâmetros que foram exigidos.

Resistência à tração na flexão

Esta propriedade também é influenciada pela variação dos componentes dos traços, sendo que a cal promoveu em todos os traços aumentos expressivos (2 vezes), principalmente após os 28 dias e, para o cimento, este aumento se manifestou mais evidente até 28 dias de idade, chegando a 55,70%. O agregado apresentou efeitos mais significativos nesta propriedade. O aumento de coesão promovido pelos finos do material no estado fresco permitiu aumentos consideráveis dos valores de f_t .

A classificação das argamassas quanto a ABNT NBR 13281: 2005 variou de R2 (média resistência) até R6 (alta resistência), demonstrando que os traços propostos são indicativos de argamassas de boa qualidade quanto aos parâmetros que foram exigidos.

Resistência potencial de aderência à tração

Os valores desta propriedade apresentaram comportamento semelhante aos de f_t (com ordem de grandeza diferente), sendo as principais análises semelhantes. Esta propriedade foi balizadora para o traço com areia natural, permitindo a obtenção de um traço ideal adequado a todos os condicionantes.

Absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Percebeu-se que a composição do traço interfere nesta propriedade, com redução (aproximadamente 30%) conforme o aumento do consumo de cimento. Quanto ao coeficiente de capilaridade, pôde-se classificar as argamassas entre C2 e C5 (média capilaridade), logo, as argamassas escolhidas apresentam-se adequadas e permitem bom desempenho à edificação.

Módulo de elasticidade dinâmicos e tendência a fissurabilidade

A velocidade do pulso ultrassônico e módulo de elasticidade variaram pouco ao longo das duas datas analisadas, fato ocasionado pela já eliminação da água excedente no traço nas primeiras idades.

Constatou-se que à medida em que se aumentava o consumo de cimento as argamassas ficavam mais rígidas, aumentando o valor do módulo de elasticidade em aproximadamente 20% nos traços analisados. A presença da cal hidratada (CHI da ICAL) promoveu o aumento dos vazios, reduzindo o valor desta propriedade.

A tendência à fissurabilidade se apresentou baixa ($Ed < 7$ GPa e $Ed/ft < 2500$) a média ($7 < Ed < 12$ GPa e $2500 < Ed/ft < 3500$), o que demonstra que as argamassas produzidas têm indicativos de alta durabilidade e eficiência.

Absorção por imersão e porosidade

Constatou-se pouca diferença entre os traços básicos e destes em relação ao ideal, demonstrando que o processo de dosagem convergiu para traços semelhantes, apesar da variação dos materiais constituintes. Além disso, tem-se que a cal possui um aditivo incorporador de ar, sendo que nas argamassas com mais cal, houve maiores teores de vazios (porosidade).

Densidade de massa no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado

As densidades de massas se apresentaram superiores aos limites estipulados, sendo ligeiramente maiores para a areia artificial, o que pode ser justificado pela maior massa específica real deste agregado.

Verificou-se pouca diferença entre os traços (menos de 5%) quanto ao teor de ar incorporado, sendo que as argamassas com agregado artificial convergiram para valores de teores de ar incorporado menores que aquelas com agregado natural, justificado pelo menor consumo de cal e pela presença de mais finos no agregado artificial (efeito filler), convergindo para o aumento de densidade de massa.

Imagens por lupa estereoscópica e por microscópio óptico

Os resultados e imagens permitiram a confirmação e interação das ideias e conhecimentos abordados neste trabalho, comprovando a exequibilidade dos procedimentos e técnicas propostos e, acima de tudo, permitindo a ampliação do conhecimento acerca das argamassas de revestimento e de assentamento de alvenaria, principalmente no que tange ao

processo de dosagem, a influência dos constituintes neste compósito cimentício e as correlações e interdependências entre as propriedades analisadas.

De forma geral, evidenciou-se que as argamassas preparadas e produzidas segundo os preceitos desta metodologia convergem para produtos mais eficientes e duráveis. Logo, considerou-se os objetivos propostos no que tange ao desenvolvimento de uma metodologia de dosagem experimental aplicada às argamassas destinadas a revestimentos e assentamentos alvenaria, embasado em características mecânicas e de durabilidade dos materiais e dos compósitos gerados, além dos parâmetros normativos, profissionais e do ambiente ao qual ficará exposta.

9.4 PLANILHA ELETRÔNICA

O uso de planilha eletrônica se mostrou uma alternativa muito interessante, uma vez que maximiza a abrangência do uso destas informações de forma mais automática e prática. Esta planilha conseguiu sistematizar o processo de dosagem, permitindo ao usuário a inserção dos parâmetros e condições desejados e permite a obtenção do traço ideal para estes condicionantes e materiais indicados pelo usuário.

9.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de ampliar os conhecimentos a respeito da utilização da metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, indicam-se alguns temas para realizar novas pesquisas, sob os seguintes aspectos:

- Testar a metodologia de dosagem para argamassas sem o uso de cal, com aditivos e com adições;
- Avaliar e propor adequações para viabilizar o uso desta metodologia na dosagem de concretos;
- Buscar equações para estimar a quantidade de água nos traços em função das várias formas de medida de consistência e materiais de construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Uma breve história do Cimento Portland**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland#.U0ASRPldWuQ>. Acessado às 11:26 do dia 05/04/2014.

ACTION. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/>. Acessado dia 06/09/2014.

ANDRADE, W. P. et al. – EQUIPE DE FURNAS, LABORATÓRIO DE CONCRETO. *Concretos massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo*. Ed. PINI, São Paulo, 1997.

ANEPAC. A Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>. Acessado às 09:35 do dia 05/04/2014.

Annual Book of ASTM Standards. **American Society for Testing and Material: C 270-04**. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. 2003.

APPCAL - Associação Paranaense dos Produtores da Cal. Disponível em: <http://www.appcal.com.br/noticias/>. Acessado dia 01/05/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, **Cimento Portland de baixo calor de hidratação - Especificação**, Rio de Janeiro, NBR 13116.

_____, NORMA MERCOSUL. 1996, **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra sônica**, Rio de Janeiro, NBR NM 58.

_____, 1998, **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento**, Rio de Janeiro, NBR 7200.

_____, NORMA MERCOSUL. 1998, **Cimento Portland: Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**, Rio de Janeiro, NBR NM 76.

_____, 1997, **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro, NBR 7215.

_____. NORMAS MERCOSUL, 2000, **Cimento, concreto e agregados – terminologia - lista de termos**. NBR NM 2.

_____, NORMAS MERCOSUL, 2001, **Cimento Portland - Determinação e massa específica**. Rio de Janeiro. NBR NM 23.

_____. NORMAS MERCOSUL, 2000, **Agregados miúdos - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro. NBR NM 30.

_____. 2001, **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro. NM 46.

_____. NORMAS MERCOSUL, 2001, **Agregado miúdo. Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro. NBR NM 49.

_____. 2003, **Cal virgem e cal hidratada - Análise química**. Rio de Janeiro. NBR 6473.

_____. 2003, **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro. NBR 7175.

_____. NORMAS MERCOSUL, 2003, **Cimento Portland - Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro. NBR NM 65.

_____, NORMAS MERCOSUL, 2003, **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. NBR NM 248.

_____. 2005, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência**. Rio de Janeiro, NBR 13276.

_____, 2005, **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, NBR 12278.

_____. 2005, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, NBR 13279.

_____. 2005, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, NBR 13280.

_____. 2005, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos**. Rio de Janeiro, NBR 13281.

_____. 2005, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, NBR 15259.

_____. NORMA MERCOSUL, 2006, **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, NBR NM 45, Rio de Janeiro.

_____, 2009, **Agregados para concreto – Especificação**, Rio de Janeiro, NBR 7211.

_____. NORMA MERCOSUL, 2009, **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman**, Rio de Janeiro, NBR NM 52.

_____. 2009, **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, NBR 9778.

_____. 2009, **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, NBR 15630.

_____. 2010, **Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro. NBR 7218.

_____. 2010, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência potencial de aderência à tração**. Rio de Janeiro, NBR 13528.

_____. ISO. 2010, **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro, NBR 3310.

_____. 2011, **Alvenaria estrutural — Blocos de concreto – parte 1 e 2**. Rio de Janeiro. NBR 15961.

_____. NORMA MERCOSUL. 2012, **Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro. NBR NM 18.

_____. 2012, **Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro. NBR 9779.

_____. 2012, **Cimento Portland — Determinação da expansibilidade Le Chatelier**. Rio de Janeiro. NBR 11528.

_____. 2013, **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro. NBR 11579.

_____. 2013, **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. Rio de Janeiro, NBR 13529.

BAÍA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimentos de argamassa**. 4ª edição. Editora O Nome da Rosa. 2008.

BAHIENSE, A. V.; MANHÃES, R. T.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G. C.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA C. M. F.; *Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água*. In.: **Revista Cerâmica**. Vol. 54. Pg. 395-403. 2008.

BARBOSA, M.T.G. **Materiais de Construção Civil 1**. Notas de Aula. Universidade Federal de Juiz de Fora. Jun. 2011.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. São Paulo, 172 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2001.

BAUER, Elton; SOUSA, José Getúlio Gomes de. **Revestimentos de Argamassa - Características e Peculiaridade**. Disponível em: http://www.abcp.org.br/comunidades/brasil/brasil/download/lnk_05/revestimentos_d_e_argamassa.pdf. Acessado as 16:03 do dia 10/02/2011.

BETIOLI, Andrea Murillo; JOHN, Vanderley Moacyr; GLEIZE, Philippe Jean Paul; PILEGGI, Rafael Giuliano. **Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 37-48, out./dez. 2009.

BUENO, Laura Machado de Mello. **Projeto e favela: metodologia para projetos de urbanização**. Tese de doutorado apresentada à FAUUSP, São Paulo, 2000.

CAMPITELI, V. C.; MASSARETTO, R.; RODRIGUES, P. T. **Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída**. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, I., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, p. 73-82. 1995.

CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese para doutorado na EPUSP. São Paulo, São Paulo 2009.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassa através de curvas granulométricas**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil, BT/PCC/237. São Paulo. 1999.

CETIN, Aykut e CARRASQUILLO, Ramon L. High-Performance Concrete: *Influence of Coarse Aggregate on Mechanical Properties*. **ACI Materials Journal**, p.252-261, Mai.-Jun., 1998.

COSTA, F. N. **Processo de execução de revestimento de fachada de argamassa: problemas e oportunidade de melhoria**. 195 p. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Boletim Técnico n. 68. 1995.

CORINALDESI, Valeria; MORICONI, Giacomo; NAIK, Tarun R.. *Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete*. **Construction and Building Materials**. Volume 24, Pg. 113-117, Janeiro de 2010.

COURA, Cláudia Valéria Gávio, **Estudo sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense Niterói,. RJ : [s.n.], 2009.

COUTO, L. C; SANTOS, W. J. **Notas de aula de Materiais de Construção** do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. 2012.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Vol.1 LNEC. 1973.

DE LARRARD,F. *Concrete Optimisation With Regard to Packing Density and Rheology*.3rd International RILEM - Symposium on Rheology of Cement Suspensions such as Fresh Concrete. France, p. 1-8. 2009.

DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA J. N. F.; *Utilização do planejamento experimental em rede simplex no estudo de resíduo de rocha ornamental como filler para obtenção de máxima compacidade*. In.: **Revista Cerâmica**. Vol. 57. Pg. 491-498. 2011.

DEVORE, Jay L.; CENGAGE Learning. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. 8ª Ed. 2014.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Informe Mineral 2013**. Setor de Autarquias Norte. Brasília, DF – Brasil. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acessado as 09:20 do dia 22/11/2014.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral- Areia para Construção Civil**. Brasília, DF – Brasil. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8965. Acessado as 09:32 do dia 05/04/2014.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. Dissertação para o Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, da Universidade Federal do Paraná, Mestre em Construção Civil. Curitiba, Paraná, Abril de 2010.

GAZOLA, Ana Paula. **Argamassas de assentamento e revestimento fabricadas com compósito de cimento-madeira: serragem da madeira de Pinus Taeda**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, Santa Catarina, 2007.

GOBLE, Christine Float e COHEN, Menashi D. *Influence of aggregate surface area on mechanical properties of mortar*. **ACI Materials Journal**, p. 657-662, Nov.-Dez., 1999.

GOMES, A. M. **Caracterização de Argamassas Tradicionais Utilizadas nos Revestimentos Exteriores dos Edifícios**. Tese de doutorado. Universidade Técnica de Lisboa, 1995.

GOMES, A. O.; NEVES, C. M. M. *Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais*. **Revista Ambiente Construído**. Volume 2, Pag. 13-30, Abr. 2002.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma abordagem à econometria**. Editora USP. 1977.

HWANG, Eui-Hwan; SOO KO, Yung. *Comparison of mechanical and physical properties of SBR-polymer modified mortars using recycled waste materials*. **Journal of Industrial e Engenharia Química**. Volume 14, Pag. 644-650, Set. 2008.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Editora IBRACON. 2 volumes. São Paulo. 2ª Edição. 2010.

ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. Editora IBRACON. V. 2. 2 volumes. São Paulo. 2011.

KADRI, El Hadj e DUVAL, Roger. *Effect of ultrafine particles on heat of hydration of cement mortars*. **ACI Materials Journal**, Pag. 138-142, Mar.-Abr., 2002.

KARASAHIN, Mustafa e TERZI, Serdal. *Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete*. **Construction and Building Materials**. Volume 21, Pag 616-620, Mar. 2007.

KILBERT, C. *Establishing principles and a model for sustainable construction*. In: **CIB TG 16 Sustainable Construction**. Proceedings Tampa, Flórida, November 6-9, p.3-12, 1995.

LANGE F., MORTEL, H., RUDERT, V. *Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties*. **Cement and Concrete Research**.v.27, n.10, p.1481-1488, 1997.

LANGSTON, Craig; WONG, Francis K.W.; HUI, Eddie C.M. e SHEN, Li-Yin. *Strategic assessment of building adaptive reuse opportunities in Hong Kong*. **Building and Environment**. Vol. 43, Edição 10, Pag. 1709-1718, Outubro 2008.

LARA, D., NASCIMENTO, O., MACEDO, A., GALLO, G., PEREIRA, L POTY, E. **Dosagem das argamassas**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiania, Anais gionia, ANTAC, A995. P. 63-72. 1995.

LEE, S. T.; MOON, H. Y.; SWAMY, R. N.; KIM, S. S. E KIM, J. P.. *Sulfate attack of Mortars Containing Recycled Fine Aggregate*. **ACI Materials Journal**, Jun.-Ago., p. 242-230, 2005.

LIMA, A. N. **Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de**

blocos cerâmicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, 2010.

MAROLF, Adam; NEITHALATH, Narayanan; SELL, Eric; WEGNER, Kristy, WEISS, Jason e OLEK, Jan. *Influence of Aggregates Size and Gradation on Acoustic Absorption of Enhanced Porosity Concrete.* **ACI Materials Journal**, Jan.-Fev., p. 82-91, 2004.

MARTINELLI, F. A. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias.** São Paulo, 179 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1989.

MCNALLY, Ciaran; RICHARDSON, Mark G. *Reactivity Assessment of Aggregates: Role of Chert Crystallinity.* **ACI Materials Journal**, p. 163-169, Mai.-Jun., 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: PINI, 2008.

MENG L., LU P., LI S., ZHAO, J., LI, T. *Shape and size effects on the packing density of binary spherocylinders.* **Powder Technology**. v.228, p.284-294, 2012.

MINGOTI, Suei Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Editora da UFMG. 2005.

MONTEIRO, Paulo J. M.; SHOMGLIN, Kome; WENK, H. R. E HASPARYK, Nicole P. *Effect of aggregate deformation on alkali-silica reaction.* **ACI Materials Journal**, p. 179-183, Mar.-Abr., 2001.

MONTGOMERY, D. C; RUNGER, G. C. **Estatística e probabilidade para engenheiros.** 5ª edição. Editora LTC. 2014.

MOTA, João Manoel F.; OLIVEIRA, Romilde Almeida de. *Modelo de reforço com argamassa armada com adição de pozolana para alvenaria resistente.* **Anais do 5º Congresso Brasileiro do Concreto**, pg. 1-10. 29/10 a 01/11 de 2013.

MOTHÉ FILHO, Heitor F., POLIVANOV, Helena, BARROSO, Emílio V., MOTHÉ, Cheila G.. **Thermal and mechanical study from granite and marble industry reject.** **Thermochimica Acta**. Volumes 392-393, Pag. 47-50, Setembro 2002.

MUÑOZ, Jose F.; TEJEDOR, M Isabel; ANDERSON, Marc A. e CRAMER, Steven M. *Detection of Aggregate Clay Coating and Impacts on Concrete.* **ACI Materials Journal**, p. 387-395, Jul.-Ago., 2010.

MYERS YE, Walpole Mayers. **Propalidade & Estatística para engenharia e ciências.** 8ª ed. Ed Americana. 2008.

NEVILLE, ADAM M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Editora Bookman, São Paulo, 472 p. 2ª edição. 2013.

PENG Y., HU S., DING Q. *Dense Packing Properties of Mineral Admixtures in Cementitious Material*. **Particuology Science and Technology of Particles**.n.7, p.399-402, 2009.

PEÑA, M. R. G. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas pra reparos em estruturas de concreto**. São Paulo, 107 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. 2004.

POOLE, A. B.; SIMS, I. **Concrete petrography – A handbook of investigative techniques**. Ed. Arnold. London, 1998.

RIBEIRO, B. V. Venkatarama; JAGADISH, K. S.. *Embodied energy of common and alternative building materials and Technologies*. In. Revista **Energia e Edifícios**. Volume 35, Pg129-137, Fevereiro de 2003.

SABBATINI, F. H.; SELMO, S. M. S.; ARAÚJO, M. S. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Relatório Técnico. 1988.

SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, Agosto de 2008.

SANTOS, White José. **Argamassa de alto desempenho**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, Julho de 2011.

SAOUMA, Victor e PEROTTI, Luigi. *Constitutive Model for Alkali-SAggregate Reactions*. **ACI Materials Journal**, Mair.-Junr., p. 194-202, 2006.

SAHMARAN, Mustafa; LACHEMI, Mohamed; HOSSAIN, Khandaler M. A.; RANADE, Ravi e LI, Victor C. *Influence of Aggregates Type and Sinze on Ductility and Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites*. **ACI Materials Journal**, Mai.-Jun., p. 308-316, 2009.

SALEM, Rohi M. e BURDETTE, Edwin G. *Role of chemical and Mineral Admixture on Physical Properties and Frost-Resistance of Recycled Aggregate Concrete*. **ACI Materials Journal**, p. 558-563, Set.-Out., 1998.

SEGADÃES, A. M.; CARVALHO, M. A., ACCHAR, W.. *Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products*. **Applied Clay Science**.Volume 30, Edição 1, Pag. 42-52, Agosto 2005.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimento de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul**. Porto alegre, 164p. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissionalizante) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

SCHWARK, Martin Paul. **Inovação – porque o desinteresse na indústria da construção civil**. In. Inovação em Construção Civil, Coletânea – 2006.

SENGUL, Özkan;TASDEMIR, Canan e TASDEMIR, Mehmet al.i. *Influence of aggregate type on mechanical behavior of normal- and high-strength concrete*. **ACI Materials Journal**, Nov.-Dez., p. 528-533, 2002.

SELMO, S. M. S.; **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento Externo de fachadas dos edifícios**. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SELMO, S. M. S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento Externo de fachadas dos edifícios**. 10 p. Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

SINDICAL – Sindicato das Empresas de Cal. **Histórico da Cal**. Disponível em: <http://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindicalpr/FreeComponent3302content19867.shtml>. Acessado Às 13:30 do dia 05/04/2014.

SILVA, P. F. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. Ed. PINI, São Paulo, 1995.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

SOUZA, A.J.; PINHEIRO, B.C.A. E HOLANDA, J.N.F.. *Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles*. **Journal of Environmental Management**. Volume 91, Edição 3, Pag. 685-689 Janeiro-fevereiro de 2010. SOUSA, José Getúlio Gomes de; LARA, Patrícia Lopes de Oliveira. Reologia e trabalhabilidade das argamassas. In: BAUER, Elton (Coord.). **Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades**. Brasília, p. 23-29. 2007.

VIEIRA, Sonia. **Introdução à bioestatística**. 4ª edição. Editora Elsevier. 2008.

YAMAN, Ismail Ozgur; INCI, Gokhan; YESILLER, Nazli e AKTAN, Haluk M. *Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete Using Direct and Indirect Transmission*. **ACI Materials Journal**, p. 450-457, Nov.-Dez., 2001.

WEITZ, D. A. *Packing in the Spheres*. **Science**. n.303, p.968, fev. 2004.

APÊNDICE 1 – APLICABILIDADE DA EQUAÇÃO 20.

Substituindo os valores das massas específicas unitárias compactas de cada curva granulométrica na equação 20, pode-se encontrar os valores percentuais para a quantidade de agregado, vide gráficos de 1.1 a 1.4.

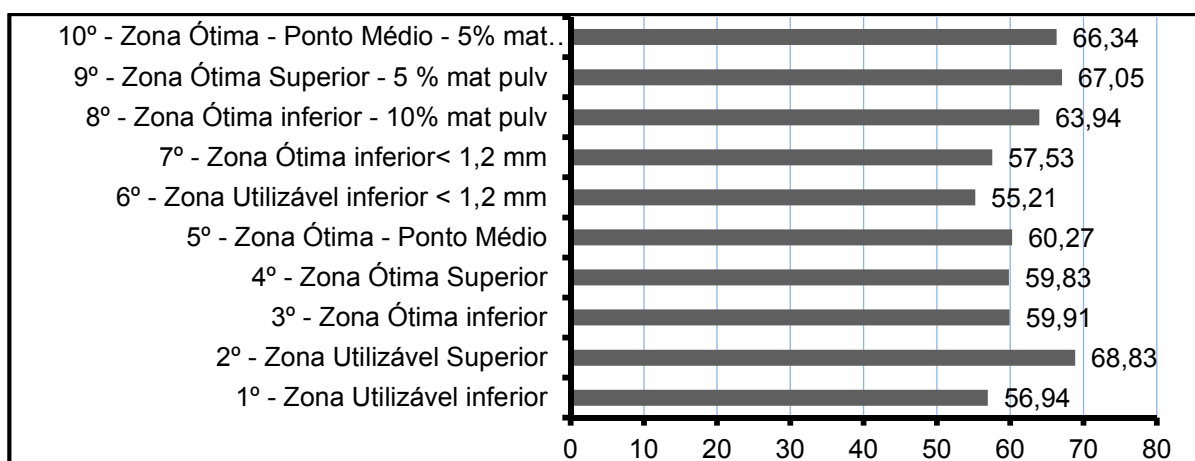


Gráfico A 1.1 - Teor de agregado miúdo (%) - Areia Natural – compacta - curvas granulométricas.

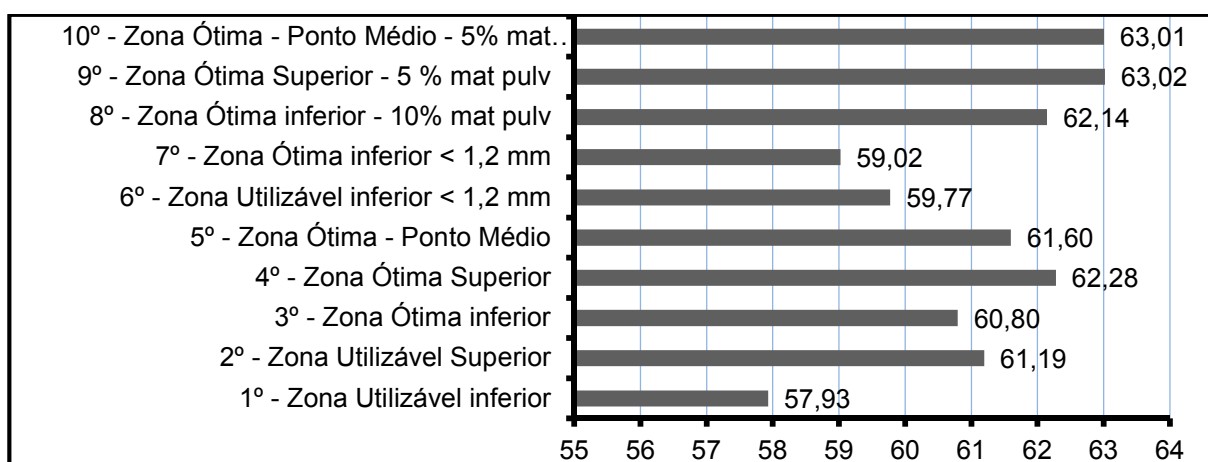


Gráfico A 1.2 - Teor de agregado miúdo (%) - Areia Artificial – compacta - curvas granulométricas.

Constata-se que os valores encontrados nos gráficos estão entre 54% e 69%, muito próximos aos encontrados atualmente na bibliografia (64%, vide tabela 22) para areias convencionais que estão localizadas entre as curvas que foram montadas, e que a maioria dos traços possui uma relação aglomerante/agregado de 1:3 (em volume).

APÊNDICE 2 – EXEMPLO DO TESTE DA PLANILHA COM O AGREGADO NATURAL E CONDIÇÕES DA TESE.

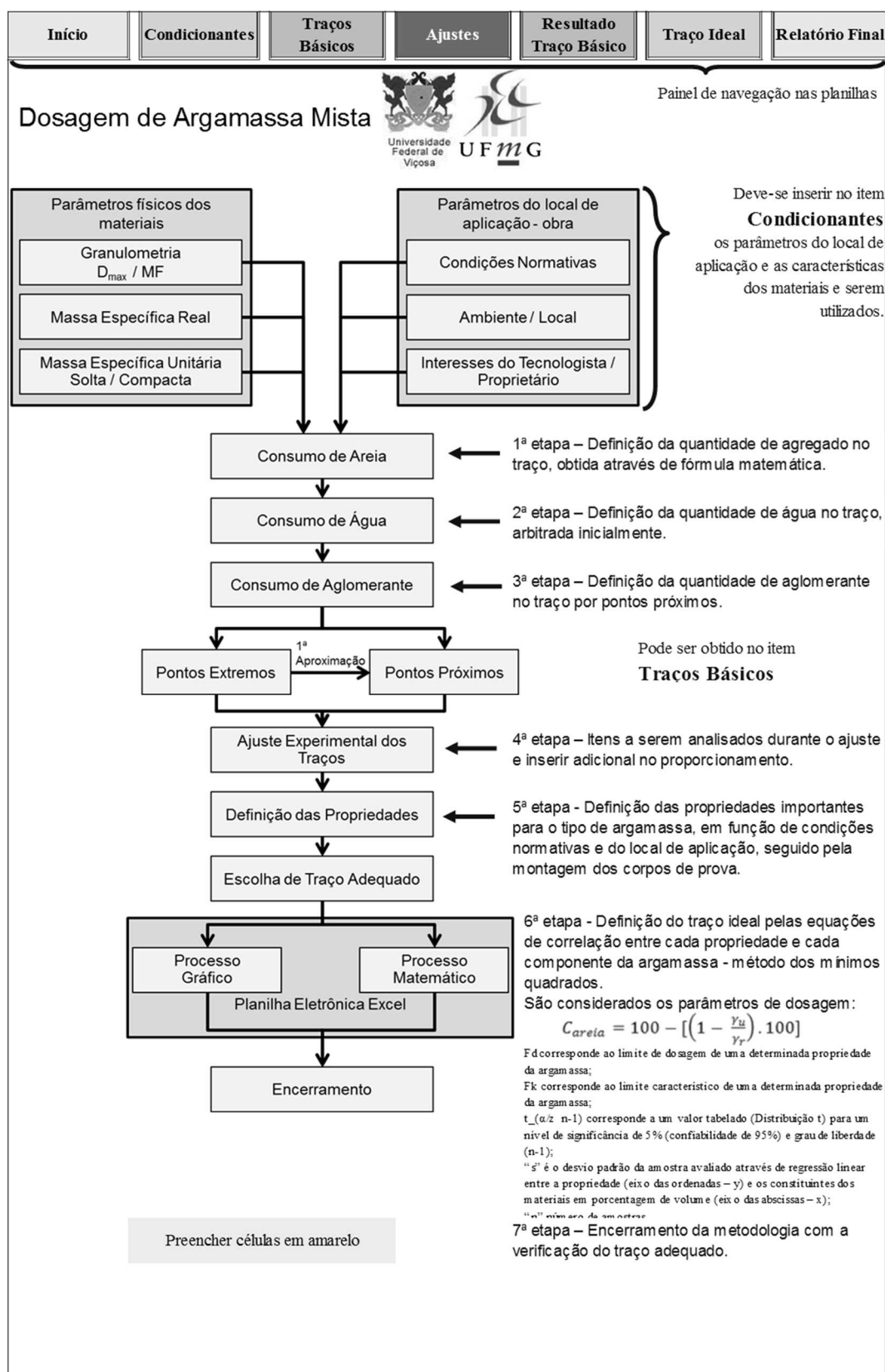


Figura A 2.1 - Imagem da planilha principal, na qual estão as diretrizes e a seqüência executiva da dosagem.


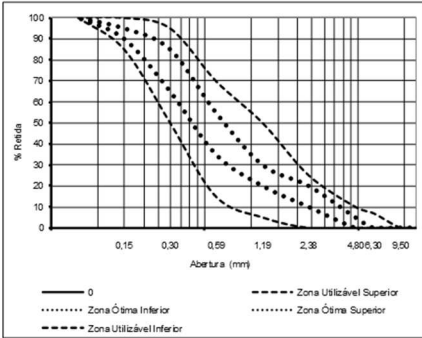
Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final																														
Dosagem de Argamassa Mista																																				
CONDICIONANTES DA OBRA																																				
Tipo de obra =		Emboço	Reboco	Assentamento de Alvenaria	C_{água} inicial (%) = 15																															
Características exigidas																																				
Compressão f_c = MPa		*	Teor de ar incorporado = %			Faixas válidas $0 \leq f_c < 2$ $2 \leq f_c < 4$ $4 \leq f_c < 10$ $10 \leq f_c < 20$ $20 \leq f_c$																														
Tração na flexão = MPa		*	Consistência = mm		*																															
Potencial de Aderência à tração = MPa			Retenção de água = %																																	
Coefficiente de Capilaridade =			Módulo de elasticidade = GPa																																	
Massa Específica - fresco = kg/l			Tendência à fissurabilidade =																																	
Massa Específica - endurecido = kg/l			Outra () =																																	
*Obrigatório																																				
CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS																																				
0			Granulometria - ABNT NBR 248: 2003																																	
Massa Específica Real (kg/l) =			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peneira (mm)</th> <th colspan="2">%Retida Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6,3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4,8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2,4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1,2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>0,15</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fundo</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				Peneira (mm)	%Retida Acumulada		9,5			6,3			4,8			2,4			1,2			0,6			0,3			0,15			Fundo		
Peneira (mm)	%Retida Acumulada																																			
9,5																																				
6,3																																				
4,8																																				
2,4																																				
1,2																																				
0,6																																				
0,3																																				
0,15																																				
Fundo																																				
Massa Específica Unitária (kg/l) =																																				
Cal			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Situação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D_{max} emboço</td> <td>2,4 mm</td> </tr> <tr> <td>D_{max} reboco</td> <td>1,2 mm</td> </tr> <tr> <td>D_{max} alvenaria</td> <td>4,8 mm</td> </tr> <tr> <td>Z. U. Inferior</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adequado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inadequado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inadequado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adequado</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Situação		D_{max} emboço	2,4 mm	D_{max} reboco	1,2 mm	D_{max} alvenaria	4,8 mm	Z. U. Inferior		Adequado		Inadequado		Inadequado		Adequado													
Situação																																				
D_{max} emboço	2,4 mm																																			
D_{max} reboco	1,2 mm																																			
D_{max} alvenaria	4,8 mm																																			
Z. U. Inferior																																				
Adequado																																				
Inadequado																																				
Inadequado																																				
Adequado																																				
Massa Específica Real (kg/l) =																																				
Massa Específica Unitária (kg/l) =																																				
Agregado Miúdo																																				
Massa Específica Real (kg/l) =																																				
Massa Específica Unitária Solta (kg/l) =																																				
Massa Específica Unitária Compacta (kg/l) =																																				
D_{max} (mm) =																																				
Módulo de Fimura =																																				
Material Pulverulento - % =																																				
Teores de Argila - % =																																				
Impureza orgânica % =																																				
Absorção de água - % =																																				
																																				

Figura A 2.2 - Imagem da 2ª planilha, na qual são inseridas as informações básicas dos materiais e condicionantes da obra.



Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista				 		
TRAÇOS BÁSICOS						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (kg) =	#DIV/0!	Cimento (kg) =	#DIV/0!	Cimento (kg) =	#DIV/0!	
Cal (kg) =	#DIV/0!	Cal (kg) =	#DIV/0!	Cal (kg) =	#DIV/0!	
Areia (kg) =	#DIV/0!	Areia (kg) =	#DIV/0!	Areia (kg) =	#DIV/0!	
Água (kg) =	#DIV/0!	Água (kg) =	#DIV/0!	Água (kg) =	#DIV/0!	
Características exigidas						
Juntos	Compressão 6 CPs =	*	0	Teor de ar incorporado 3 CPs =	*	0
	Tração na flexão 3 CPs =	*	0	Consistência 3 CPs =	*	0
	Potencial de Aderência à tração 3 CPs =		0	Retenção de água 3 CPs =		0
	Coefficiente de Capilaridade 5 CPs =		0	Módulo de elasticidade 5 CPs =		0
	Massa Específica - fresco 5 CPs =		0	Tendência à fissurabilidade 3 CPs =		0
	Massa Específica - endurecido 5 CPs =		0	Outra () =		0
*Obrigatório						
QUANTIDADE DE ARGAMASSA POR TRAÇO						
0 m ³						
QUANTIDADE DE MATERIAIS EM KILOGRAMA - para moldagem dos corpos de prova						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (kg) =	#DIV/0!	Cimento (kg) =	#DIV/0!	Cimento (kg) =	#DIV/0!	
Cal (kg) =	#DIV/0!	Cal (kg) =	#DIV/0!	Cal (kg) =	#DIV/0!	
Areia (kg) =	#DIV/0!	Areia (kg) =	#DIV/0!	Areia (kg) =	#DIV/0!	
Água (kg) =	#DIV/0!	Água (kg) =	#DIV/0!	Água (kg) =	#DIV/0!	
QUANTIDADE DE MATERIAIS EM LITROS - para moldagem dos corpos de prova						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (litros) =	#DIV/0!	Cimento (litros) =	#DIV/0!	Cimento (litros) =	#DIV/0!	
Cal (litros) =	#DIV/0!	Cal (litros) =	#DIV/0!	Cal (litros) =	#DIV/0!	
Areia (litros) =	#DIV/0!	Areia (litros) =	#DIV/0!	Areia (litros) =	#DIV/0!	
Água (litros) =	#DIV/0!	Água (litros) =	#DIV/0!	Água (litros) =	#DIV/0!	
QUANTIDADE DE MATERIAIS PARA UM SACO DE CIMENTO						
TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3		
Cimento (saco 50kg) =	1,000	Cimento (saco 50kg) =	1,000	Cimento (saco 50kg) =	1,000	
Cal (saco 20kg) =	#DIV/0!	Cal (saco 20kg) =	#DIV/0!	Cal (saco 20kg) =	#DIV/0!	
Areia (litros) =	#DIV/0!	Areia (litros) =	#DIV/0!	Areia (litros) =	#DIV/0!	
Água (litros) =	#DIV/0!	Água (litros) =	#DIV/0!	Água (litros) =	#DIV/0!	
Padiola de areia = ##	#DIV/0!	cm	#	#DIV/0!	cm	## #DIV/0! cm
43x35 cm						

Figura A 2.3 - Imagem da 3ª planilha, em que são obtidas as informações dos traços básicos.


Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
INFORMAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DOS AJUSTES DOS TRAÇOS						
Deve-se colocar a água aos poucos até atingir a consistência desejada (definição inicial da água 15%±5% - varia com o tipo de agregado, forma de aplicação e profissional)						
Verificar a exudação ou falta de coesão						
<ul style="list-style-type: none"> - A água fica aflora na superfície da argamassa - A argamassa apresenta-se segregando - pouca "liga" 			<ul style="list-style-type: none"> Colocar mais aglomerante Reduzir a quantidade de agregado Inserção de finos Peneirar a areia e refazer a dosagem 			
Verificar coesão excessiva						
<ul style="list-style-type: none"> - A argamassa apresenta-se com muita "liga" - A argamassa fica grudada na colher de pedreiro úmida 			<ul style="list-style-type: none"> Colocar mais agregado Reduzir a quantidade de aglomerante Peneirar para retirar finos 			
Argamassa muito aspera						
<ul style="list-style-type: none"> - A argamassa apresenta-se com muitas partículas grandes - A argamassa não permite o acabamento desejado 			<ul style="list-style-type: none"> Peneirar a areia de modo a atender o Dmax estipulado no início Compor a medida com outra areia mais finas 			
Inserção de aditivos e adições						
<ul style="list-style-type: none"> - Deve-se colocar os aditivos aos poucos conforme especificação do fabricante e interesses do tecnologista; - Aditivos plastificantes devem ser inserido junto com água que deve ser colocada aos poucos até atender a plasticidade; - Adições devem ser previstas e colocadas junto aos materiais durante a mistura e indicado no traço ajustado; 						
AJUSTES DOS TRAÇOS						
	TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3	
	Previsto	Adicional	Previsto	Adicional	Previsto	Adicional
Cimento (kg) =	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg
Cal (kg) =	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg
Areia (kg) =	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg
Água (kg) =	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg	#DIV/0!	kg
Cimento (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Cal (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Areia (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Água (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Cimento (saco 50kg) =	1,000	ℓ	1,000	ℓ	1,000	ℓ
Cal (saco 20kg) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Areia (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Água (litros) =	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ	#DIV/0!	ℓ
Preencher somente o processo de dosagem executado pelo tecnologista						
TRAÇOS BÁSICOS AJUSTADOS						
	TRAÇO BÁSICO 1		TRAÇO BÁSICO 2		TRAÇO BÁSICO 3	
Cimento (kg) =	Inserir Ajuste	Cimento (kg) =	Inserir Ajuste	Cimento (kg) =	Inserir Ajuste	
Cal (kg) =	Inserir Ajuste	Cal (kg) =	Inserir Ajuste	Cal (kg) =	Inserir Ajuste	
Areia (kg) =	Inserir Ajuste	Areia (kg) =	Inserir Ajuste	Areia (kg) =	Inserir Ajuste	
Água (kg) =	Inserir Ajuste	Água (kg) =	Inserir Ajuste	Água (kg) =	Inserir Ajuste	

Figura A 2.4 - Imagem da 4ª planilha, na qual obtém as informações dos ajustes e se insere os adicionais, se houve, nos traços básicos.



Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista						
RESULTADOS DOS TRAÇOS BÁSICOS						
ENSAIOS		Compressão				
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 1	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
2						
3						
4						
5						
6						
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 2	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
2						
3						
4						
5						
6						
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 3	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
2						
3						
4						
5						
6						
ENSAIOS		Tração na Flexão				
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 1	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
2						
3						
Data de Moldagem			Idade	dias	TRAÇO 2	
CP's	Tensão (MPa)	fc médio (MPa)	DP (MPa)	Erro (MPa)	SITUAÇÃO Erro/fc<10%	
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
2						
3						

Figura A 2.5 - Imagem da 5ª planilha, na qual se insere os resultados das propriedades dos traços básicos.



Início	Condicionantes	Traços Básicos	Ajustes	Resultado Traço Básico	Traço Ideal	Relatório Final
Dosagem de Argamassa Mista				 		
DEFINIÇÃO DO TRAÇO IDEAL						
		C _{cm} (%)	C _{cal} (%)	C _{areia} (%)	C _{água} (%)	
Limite Inferior	Resistência à Compressão (MPa)	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Limite Inferior	Resistência à Tração na flexão (MPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Inferior	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Coefficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Inferior	Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Densidade de massa no estado endurecido (kg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Densidade de massa no estado fresco (kg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Teor de ar incorporado (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Propensão à fissurabilidade	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Superior	Retenção de água (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limite Inferior	Outra () =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TRAÇO IDEAL						
Resistência à Compressão (MPa)						
Limite		C _{cm} (%)	C _{cal} (%)	C _{areia} (%)	C _{água} (%)	
0,00		0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		(l)	(l)	(l)	(l)	
		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Figura A 2.6 - Imagem da 6ª planilha, em que são obtidas as informações sobre o traço ideal.

