

ARMANDO PREIZAL FERREIRA

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA DE BLOCOS DE CONCRETO
COM VIDRO COMO AGREGADO MIÚDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestrado em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da Construção e Estruturas.

Orientador: Prof. Emil de Souza Sánchez Filho – D.Sc.

Coorientadora: Prof^a Cláudia Valéria Gávio Coura – D.Sc.

NITERÓI

2015

ARMANDO PREIZAL FERREIRA

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA DE BLOCOS DE CONCRETO
COM VIDRO COMO AGREGADO MIÚDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestrado em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da Construção.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Emil de Souza Sánchez Filho – D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Cláudia Valéria Gávio Coura – D.Sc.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste
de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora

Prof. José Renato de Castro Pessôa – D.Sc.
Laboratório de Ensaios Físicos do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro
(IPRJ – UERJ)

Eng^o Civil Iporan de Figueiredo Guerrante – D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

NITERÓI
2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Armando de Figueiredo Ferreira (*in memoriam*) e Beatriz dos Anjos Preizal, exemplos de amor, dedicação e incentivo que sempre me deram.

À minha esposa Cristina Scorza e ao meu filho Fernando Scorza Preizal, pelo carinho, encorajamento e compreensão de minha ausência, nos momentos que fui obrigado a abdicar da família, em prol dos trabalhos e pesquisas para a elaboração desta obra.

Ao professor Emil de Souza Sánchez Filho, principal responsável por este mestrado, meu sincero e eterno reconhecimento pelas orientações precisas, desde as primeiras aulas.

À Universidade Federal Fluminense que me acolheu em 1975, e novamente em 2013, por me proporcionar as condições para a graduação e o mestrado.

À professora Cláudia Valéria Gávio Coura, pelo apoio, ensinamentos e prática de laboratório, minha eterna gratidão.

Ao professor Sérgio Kitamura, pelas aulas de estatística e comentários ao trabalho.

Aos professores Carlos Alberto Pereira e Orlando Celso Longo, coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFF, por valiosas orientações dadas a mim.

À Clarice Brazão, secretária geral do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFF, pela atenção, sempre que solicitada.

À Sueli Pereira, Ieda Coutinho e Leonardo Ibanez, funcionários da secretaria da Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFF, pelo apoio prestado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFF que tiveram papel importante no meu caminho de aprendizado.

Ao professor José Kimio Ando pelo apoio e aulas de matemática.

À Maria José de Carvalho, pela leitura crítica do trabalho.

Aos colaboradores Máximo Pífano, laboratorista e Aline Helena, estagiária de Engenharia do Laboratório de Materiais de Construção, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora.

À Pedreira São Sebastião, na pessoa seu superintendente Prof. Sebastião Soligo e seus colaboradores, o engenheiro e gerente Márcio Antônio Cardoso e o técnico de produção Marcos Vinicius, pela oportunidade de utilizar as instalações da fábrica para a produção dos blocos de concreto e corpos de prova.

À Flávia Nunes e Irani Vilela, pelo apoio na área da informática.

Ao engenheiro e consultor Márcio Faria da Pedreira São Sebastião, pela colaboração e interesse na pesquisa.

Aoengenheiro Luiz Chichierchio, eterno amigo, por sua consultoria relativa aos blocos de concreto e auxílio ao desenvolvimento desta dissertação.

À HOLCIM (Brasil) S.A. na pessoa do engenheiro Higor Moura, pela atenção e fornecimento de material de estudo valioso para esta dissertação.

A José Alves da Silva (*in memoriam*), meu primeiro e inesquecível incentivador.

A José Renato de Castro Pessôa, Joaquim Teixeira de Assis e Vítor Joachim CortinesdoLaboratório de Ensaios Físicos do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro (IPRJ – UERJ).

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

Um dia, cansado de procurar e não encontrar,
o ser humano se voltará para dentro de si,
então, encontrará o que procura.

ParamahansaYogananda

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de ensaios feitos em blocos e prismas de concreto fabricado com vidro temperado e laminado moído em substituição integral ao agregado miúdo natural (pó de pedra). Avalia também propriedades mecânicas do concreto endurecido utilizado na confecção desses blocos. Foram realizados ensaios à compressão de bloco e ensaios à compressão de prismas de três blocos, confeccionados com pó de pedra (blocos de referência) e com vidro triturado como agregado miúdo. As resistências testadas nos blocos, prismas e demais ensaios foram de 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa e 10 MPa. Os blocos e os prismas de concreto foram testados quanto à compressão axial; o concreto foi testado quanto à compressão axial, tração à compressão diametral, tração à flexão, retração hidráulica, módulo de elasticidade, coeficiente de *Poisson*, absorção de água por imersão e por sucção capilar, e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial nos blocos ficaram acima das resistências estimadas. Concluiu-se que é viável a substituição integral do agregado miúdo natural (pó de pedra) por resíduo de vidro triturado. Nos ensaios de resistência à compressão axial, tração à compressão diametral, tração à flexão, retração hidráulica, módulo de elasticidade, e coeficiente de *Poisson*, as curvas de correlação paralela indicam: (a) que a troca dos agregados altera a resistência de um valor constante, (b) que as resistências do concreto com agregado miúdo natural e com vidro triturado aumentam efetivamente com o passar do tempo, e (c) que o uso do vidro triturado não afeta o comportamento de aumento da resistência do concreto. Nos ensaios de absorção de água, o comportamento foi muito semelhante ao previamente descrito, ocorrendo um ligeiro aumento da absorção no concreto com agregado de vidro triturado. Na propagação da velocidade de ondas ultrassônicas o aumento de velocidade foi mais acentuado no concreto com agregado miúdo natural.

Palavras-chave: rejeito de vidro; pó de pedra; bloco de concreto.

ABSTRACT

This paper presents the results of tests done on concrete blocks and prisms made with tempered and laminated crushed glass as a full replacement for stone powder, the natural small aggregate. Furthermore, it evaluates mechanical properties of the cured concrete used in the blocks production. Blocks and prisms of three blocks, made with stone powder (reference blocks), and with crushed glass in replacement for stone powder, were put to the compression test. The strengths of 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa, and 10 MPa have been tested. Blocks and concrete prisms were undergone axial compression test; the tests of axial compression, tensile diametrical compression, tensile bending, hydraulic retraction, elasticity module, Poisson coefficient, water sorptivity by capillary suction and immersion, ultrasound waves speed propagation. The results of the axial compression tests on blocks were higher than the estimated strengths. The conclusion indicates the viability of full replacement of natural small aggregate (stone powder) by crushed glass waste. On the axial strength compression, tensile diametrical compression, tensile bending, hydraulic retraction, elasticity module, and Poisson coefficient tests, the correlation parallel curves indicate: (a) the aggregate exchange modifies the strength of a constant value; (b) the strength of concrete made with natural small aggregate, and with crushed glass grows over time; and (c) using of crushed glass does not affect the strength growing process of the concrete. The water absorption tests were very similar to the previously described behavior, with a small increase of water absorption by concrete with crushed glass aggregate. The ultrasound waves speed propagation was higher on the concrete with natural small aggregate.

Keywords: glass waste; glass; stone powder; concrete block.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1– Montagem do vidro laminado.	38
Figura 3.2– Para-brisas quebrados fabricados com vidro laminado e temperado.	38
Figuras3.3– Polivinilbutiral.	39
Figura 4.1– Esquema do programa experimental.	40
Figura 4.2– Esquema do programa experimental com AMN.	41
Figura 4.3– Esquema do programa experimental com AMVT.	42
Figura 4.4– Indústria recicladora de vidro – Resíduo de vidro.	43
Figura 4.5– Vidro na granulometria do pó de pedra para ser encaminhado à indústria de fabricação dos blocos.	44
Figura 4.6– Pó de pedra.	44
Figura 4.7– Granulometria do pó de pedra 6,3 mm a 1,2 mm.	46
Figura 4.8– Granulometria do pó de pedra 0,6 mm a fundo.	46
Figura 4.9– Granulometria do vidro 6,3 mm a 1,2 mm.	47
Figura 4.10– Granulometria do vidro 0,6 mm a fundo.	47
Figura 4.11– Agregados do concreto dos blocos e corpos de prova.	47
Figura4.12– Frascos de <i>Chapman</i>	51
Figura 4.13– Recipientes prismáticos para pesagem do agregado.	52
Figura 4.14– Formas para moldagem.	67
Figura 4.15– Corpos de prova preenchidos.	67
Figura 4.16– Câmara de cura dos blocos.	68
Figura 4.17– Câmara úmida a vapor.	68
Figura 4.18– Capeamento dos corpos de prova.	68
Figura 4.19– Capeamento dos blocos de concreto.	69
Figura 4.20– Ensaio de resistência à compressão axial do corpo de prova cilíndrico.	69
Figura 4.21– Ensaio de resistência à tração por compressão diametral do corpo de prova cilíndrico.	70
Figura 4.22– Ensaio de retração hidráulica do concreto.	72
Figura 4.23– Ensaio de tração na flexão do concreto.	72
Figuras4.24– Ensaio do módulo de elasticidade do concreto na idade de 28 dias.	74
Figuras 4.25– Ensaio do Coeficiente de <i>Poisson</i> do concreto.	75
Figura 4.26– Ensaio de absorção por imersão do concreto.	76
Figura 4.27– Ensaio de absorção por sucção capilar do concreto.	76
Figura 4.28– Ensaio de absorção por sucção capilar do concreto.	77
Figura 4.29– Aparelho de medição de velocidade de propagação ultrassônica.	78
Figura 4.30– Ensaio de velocidade de propagação ultrassônica em.	78
Figura 4.31– Determinação das dimensões efetivas.	80
Figura 4.32– Determinação das dimensões paredes e furos.	80
Figura 4.33– Ensaio de compressão do bloco.	80
Figura 4.34– Tipos de assentamentos.	81
Figura 4.35– Argamassa com cal. CARASEK, H. (1996).	83
Figura 4.36– Prismas capeados e prensa utilizada nos ensaios dos prismas.	83
Figura 4.37– Ensaio de resistência à compressão do prisma com três blocos.	84
Figura 5.1– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	88
Figura 5.2 – Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	89
Figura 5.3– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	89
Figura 5.4– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	90
Figura 5.5– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	91
Figura 5.6– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	92
Figura 5.7– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência estimada de 10 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	92

Figura 5.8– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT com relação a resistência estimada de 10 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.	93
Figura 5.9–Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência estimada de 4 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	96
Figura 5.10– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 4 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	97
Figura 5.11– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência estimada de 6 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	97
Figura 5.12– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 6 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	98
Figura 5.13–Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência estimada de 8 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	99
Figura 5.14– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 8 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	100
Figura 5.15– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência estimada de 10 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.	100
Figura 5.16– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência do concreto com AMVT em relação à resistência do concreto com AMN na tração por compressão diametral nos corpos de prova cilíndricos na resistência estimada de 10 MPa.	101
Figura 5.17– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 10 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos.	102
Figura 5.18– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	106
Figura 5.19– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	106
Figura 5.20– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a retração hidráulica na resistência estimada de 6 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.....	107
Figura 5.21– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	108
Figura 5.22– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a retração hidráulica nas resistências estimadas de 8 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.	108
Figura 5.23– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	109
Figura 5.24– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a retração hidráulica na resistência estimada de 10 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.....	109
Figura 5.25– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	110
Figura 5.26–Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT aos 28 dias.	112
Figura 5.27– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT aos 28 dias.	113
Figura 5.28– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i>	115

Figura 5.29– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT no módulo de elasticidade em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.	116
Figura 5.30– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para o coeficiente de <i>Poisson</i> dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias. ...	118
Figura 5.31– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT no Coeficiente de <i>Poisson</i> em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.	119
Figura 5.32– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a absorção de água por imersão nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.	121
Figura 5.33– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na absorção de água por imersão em relação á resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.	122
Figura 5.34– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a absorção de água por sucção capilar nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.	124
Figura 5.35– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT na absorção de água por sucção capilar em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT com 28 dias.	125
Figura 5.36– Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a velocidade de propagação de ondas ultrassônica nos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias.	127
Figura 5.37– Curva de correlação e coeficiente linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT para a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em relação aos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias.	128
Figura 5.38–Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência à compressão axial em blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias. ...	131
Figura 5.39– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência à compressão axial dos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias....	132
Figura 5.40– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT para a resistência à compressão axial em blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias.	132
Figura 5.41–Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a resistência à compressão axial em prisma com três blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias.	135
Figura 5.42– Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de <i>Pearson</i> para a razão AMN/AMVT e a resistência estimada na resistência à compressão axial nos prismas com três blocos de concreto com AMN e AMVT.	136
Figura5.43– Analisador AMPTEK MODELO 123.	137
Figura 5.44– Microscópio digital <i>ProScope HR</i>	137
Figura 5.45– Microscópio digital VEHO.	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Granulometria do pó de pedra (AMN) fornecida pela fábrica de blocos.....	56
Tabela 4.2 – Classificação das areias em relação ao módulo de finura.	56
Tabela 4.3 – Resumo dos ensaios com corpos de prova com AMN.	60
Tabela 4.4 – Resumos dos ensaios com corpos de prova com AMVT.....	61
Tabela 4.5– Resumo dos ensaios em blocos de concreto com AMN.....	62
Tabela 4.6– Resumo dos ensaios em prismas com três blocos com AMN.	62
Tabela 4.7 – Resumo dos ensaios em blocos de concreto com AMVT.....	63
Tabela 4.8 – Resumo dos ensaios em prismas com três blocos com AMVT.	63
Tabela 4.9 – Dosagem de argamassa de assentamento de blocos.....	82
Tabela 5.1 - Resultados Individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial.	87
Tabela 5.2 – Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão diametral.....	95
Tabela 5.3 – Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios de retração hidráulica.	104
Tabela 5.4– Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à tração na flexão.	111
Tabela 5.5– Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios do módulo de elasticidade.	114
Tabela 5.6– Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios do coeficiente de Poisson.....	117
Tabela 5.7– Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de absorção de água por imersão.	120
Tabela 5.8 – Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de absorção de água por sucção capilar.	123
Tabela 5.9– Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.....	126
Tabela 5.10– Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas x qualidade do concreto	128
Tabela 5.11 – Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial dos blocos de concreto.....	130
Tabela 5.12– Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial dos prismas com três blocos de concreto.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Principais componentes do vidro simples e suas funções.	31
Quadro 3.2 – Principais propriedades físico-químicas e atrativos do vidro.	31
Quadro 3.3 – Composição química da crosta terrestre e dos vidros comuns.	32
Quadro 3.4 – Parâmetros que influenciam os valores de E_c	35
Quadro 4.1 – Influência dos materiais nas propriedades do concreto	49
Quadro 4.2 – Influência nas propriedades das argamassas em função da granulometria dos agregados.	57
Quadro 4.3 – Nomenclatura dos corpos de prova de AMN.....	64
Quadro 4.4 – Nomenclatura dos corpos de prova de AMVT.....	65
Quadro 4.5 – Nomenclatura dos blocos de concreto e prismas com AMN.	65
Quadro 4.6 – Nomenclatura dos blocos de concreto e prismas com AMVT.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
A/C	Fatoráguacimento
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AG	Agregadograúdo
AMN	Agregado miúdo natural (pó de pedra)
AMVT	Agregado miúdo de vidro triturado
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BN	Bloco de concreto com AMN
BS	<i>British Standards</i>
BV	Bloco de concreto com AMVT
CEMPRE	CompromissoEmpresarialparaReciclagem
CN	Corpo de prova cilíndrico com AMN
CNPq	Conselho Nacional e Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de prova
CP IV ARI	Cimento <i>Portland</i> de alta resistência inicial
CV	Corpo de prova cilíndrico com AMVT
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRACON	InstitutoBrasileiro do Concreto
IFSudesteMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora.
IPT	Instituto de PesquisasTecnológicas
ISO	<i>International Organization for Sttandardization</i>
MF	Módulo de finura
NM	Norma Mercosul
PN	Prisma de blocos de concreto com AMN

PV	Prisma de blocos de concreto com AMVT
PVB	Polivinilbutiral
RN	Corpo de prova prismático com AMN
RV	Corpo de prova prismático com AMVT
SINDIPEDRAS	Sindicado da Industria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS LATINOS

A_{i28}	Absorção de água por imersão aos 28 dias de idade
A_{i28m}	Absorção de água por imersão média aos 28 dias de idade
A_{sc}	Absorção de água por sucção capilar
A_{sc28}	Absorção de água por sucção capilar aos 28 dias de idade
A_{sc28m}	Absorção de água por sucção capilar média aos 28 dias de idade
E_c	Módulo de elasticidade
E_{c28}	Módulo de elasticidade aos 28 dias de idade
E_{c28m}	Módulo de elasticidade médio aos 28 dias de idade
V_{us}	Velocidade ultrassônica
V_{us64}	Velocidade ultrassônica aos 64 dias de idade
V_{us64m}	Velocidade ultrassônica média aos 64 dias de idade
f_{b28}	Resistência à compressão do bloco de concreto aos 28 dias de idade
f_{b28m}	Resistência à compressão do bloco de concreto média aos 28 dias de idade
f_{bk}	Resistência à compressão característica do bloco de concreto
f_{c14}	Resistência à compressão axial aos 14 dias de idade
f_{c14m}	Resistência à compressão axial média aos 14 dias de idade
f_{c21}	Resistência à compressão axial aos 21 dias de idade
f_{c21m}	Resistência à compressão axial média aos 21 dias de idade
f_{c28}	Resistência à compressão axial aos 28 dias de idade
f_{c28m}	Resistência à compressão axial média aos 28 dias de idade
f_{c7}	Resistência à compressão axial aos 7 dias de idade
f_{c7m}	Resistência à compressão axial média aos 7 dias de idade
f_{cb}	Resistência do bloco à compressão

f_{ck}	Resistência à compressão característica do concreto
$f_{ct,f}$	Resistência à tração na flexão
$f_{ct,sp}$	Resistência à tração por compressão diametral
$f_{ct,sp14}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 14 dias de idade
$f_{ct,sp14m}$	Resistência à tração por compressão diametral média aos 14 dias de idade
$f_{ct,sp21}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 21 dias de idade
$f_{ct,sp21m}$	Resistência à tração por compressão diametral média aos 21 dias de idade
$f_{ct,sp28}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade
$f_{ct,sp28m}$	Resistência à tração por compressão diametral média aos 28 dias de idade
$f_{ct,sp7}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade
$f_{ct,sp7m}$	Resistência à tração por compressão diametral média aos 7 dias de idade
f_{ctf28}	Resistência à tração na flexão aos vinte e oito dias de idade
f_{ctf28m}	Resistência à tração na flexão média aos vinte e oito dias de idade
f_{p28}	Resistência à compressão do prisma com três blocos aos 28 dias
f_{p28m}	Resistência à compressão do prisma com três blocos média aos 28 dias
ΔL_1	Retração hidráulica a 1 dia de idade
ΔL_{14m}	Retração hidráulica média a 14 dias de idade
ΔL_{1m}	Retração hidráulica média a 1 dia de idade
ΔL_{21m}	Retração hidráulica média a 21 dias de idade
ΔL_{28m}	Retração hidráulica média a 28 dias de idade
ΔL_7	Retração hidráulica a 7 dias de idade
ΔL_{7m}	Retração hidráulica média a 7 dias de idade
ΔL	Retração hidráulica
ΔL_{14}	Retração hidráulica a 14 dias de idade
ΔL_{21}	Retração hidráulica a 21 dias de idade
ΔL_{28}	Retração hidráulica a 28 dias de idade
μm	Mícrons

cm	Centímetro
dm ³	Decímetro cúbico
mm	Milímetros
°C	Graus Celsius
A	Área da seção transversal
F	Força
f_c	Resistência à compressão axial

LISTA DE SÍMBOLOS GREGOS

ν	Coeficiente de <i>Poisson</i>
ν_{28}	Coeficiente de <i>Poisson</i> aos 28 dias de idade
ν_{28m}	Coeficiente de <i>Poisson</i> médio aos 28 dias de idade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1 NOTAS INICIAIS	20
1.2 JUSTIFICATIVAS	20
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo geral	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 METODOLOGIA	22
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA	23
2. A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	25
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	25
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	26
2.3 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
3. O VIDRO COMO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO	30
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	30
3.2 VIDRO	30
3.2.1 Composição	30
3.2.2 Propriedades físicas	32
3.2.2.1 Densidade do vidro	32
3.2.2.2 Dureza	33
3.2.2.3 Resistência à abrasão	33
3.2.2.4 Coeficiente de condutibilidade térmica	33
3.2.2.5 Calor específico	33
3.2.2.6 Coeficiente de dilatação térmica	34
3.2.2.7 Resistência química	34
3.2.3 Propriedades mecânicas	34
3.2.3.1 Módulo de elasticidade	34
3.2.3.2 Coeficiente de <i>Poisson</i>	35
3.2.3.3 Resistência à tração	35
3.2.3.4 Resistência à compressão	36
3.2.3.5 Resistência à flexão	36
3.3 RECICLAGEM DO VIDRO	36
3.4 VIDRO A SER ESTUDADO	37
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	40
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43
4.2.1 Agregado miúdo de vidro triturado – AMVT	43
4.2.2 Agregado miúdo natural (AMN) – pó de pedra	44
4.2.3 Agregado graúdo (AG)	47
4.2.4 Água	48
4.2.5 Cimento	48
4.2.6 Aditivo	48
4.2.7 Controle dos materiais	48
4.3 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS	49
4.3.1 Resistência mecânica dos agregados	49
4.3.2 Módulo de deformação dos agregados	50
4.3.3 Massa específica dos agregados	50

4.3.4 Massa unitária dos agregados.....	51
4.3.5 Massa específica do concreto	52
4.3.6 Umidade superficial, porosidade e absorção dos agregados	52
4.3.7 Granulometria dos agregados	53
4.3.8 Substâncias deletérias, nocivas dos agregados	53
4.3.9 Forma e textura das partículas dos agregados.....	54
4.4 OS ENSAIOS.....	54
4.4.1 Moldagem dos corpos de prova e dos blocos	55
4.4.2 Dosagem do concreto dos corpos de prova e dos blocos	55
4.4.3 Parâmetros de identificação dos corpos de prova e blocos	59
4.4.4 Resumo dos ensaios	59
4.4.5 Corpos de prova de concreto	66
4.4.5.1 Resistência à compressão	69
4.4.5.2 Resistência à tração por compressão diametral	70
4.4.5.3 Retração hidráulica.....	71
4.4.5.4 Resistência à tração na flexão.....	72
4.4.5.5 Módulo de elasticidade	73
4.4.5.6 Coeficiente de <i>Poisson</i>	74
4.4.5.7 Absorção de água por imersão.....	75
4.4.5.8 Absorção de água por sucção capilar.....	76
4.4.5.9 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.....	77
4.4.5.10Corpos de prova com blocos de concreto	79
4.4.5.11Resistência à compressão do bloco de concreto	80
4.4.5.12Resistência à compressão do prisma com três blocos	81
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	85
5.1 CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COM AMN E COM AMVT PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	85
5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	86
5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	93
5.4 RETRAÇÃO HIDRÁULICA	102
5.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	110
5.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE	113
5.7 COEFICIENTE DE <i>POISSON</i>	116
5.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO	119
5.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR SUCÇÃO CAPILAR	122
5.10 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS.....	125
5.11 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM BLOCO.....	129
5.12 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMA COM TRÊS BLOCOS.....	132
5.13 ENSAIOS COMPLEMENTARES.....	136
5.14 FOTOS COM MICROSCÓPIO	137
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
6.1 CONCLUSÕES.....	138
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E SÍTIOS DA INTERNET.....	141
7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

7.2 SÍTIOS DA INTERNET	144
ANEXOS	146

INTRODUÇÃO

1.1 NOTAS INICIAIS

Este trabalho apresenta os resultados de ensaios realizados em blocos e prismas de concreto fabricado com vidro temperado e laminado moído (AMVT) em substituição integral ao agregado miúdo natural, pó de pedra (AMN). Avalia também propriedades mecânicas do concreto endurecido utilizado na confecção desses blocos.

Os materiais que são rejeitos em determinado segmento, podem ser matéria-prima em outro. Assim, é preciso que sejam adotados recursos tecnológicos que viabilizem o uso mais eficaz desses materiais, e um deles é a reciclagem.

Isso porque, o uso da areia natural assim como o pó de pedra como agregado miúdo tem gerado a degradação do meio ambiente, além da escassez do produto nas proximidades dos grandes centros urbanos. Quanto mais distante está a fonte dessa matéria-prima, maior é o impacto no custo do produto final, tais como, concretos e argamassas. O impacto no custo é gerado especialmente pelo transporte, além do custo ambiental que a necessidade de novas jazidas impõe. O agravante desta situação é que “de todos os materiais de construção civil a areia é o que tem maior consumo nas obras” (ALBUQUERQUE, 1957).

Portanto, para o tema “Reaproveitamento de resíduos na área do ambiente construído”, aqui em estudo, é imprescindível significar reciclagem com sustentabilidade que está em pauta, pois com o crescimento populacional, a demanda por produtos só poderá ser atendida com a reutilização dos recursos existentes. Inicialmente, essa reutilização poderá não ser rentável, mas com o passar do tempo e as alterações nas premissas hoje vigentes, juntamente com a evolução dos processos de reaproveitamento, a viabilidade econômica será imperativa.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais. Nele, segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), o material de

construção mais utilizado é o concreto, cuja estimativa de consumo atual no mundo está na ordem de onze bilhões de toneladas métricas ao ano.

O concreto é geralmente, composto da mistura de cimento *Portland* com areia, brita e água e durante o ano de 1963, nos Estados Unidos, 63 milhões de toneladas de cimento *Portland* foram convertidos em 500 milhões de toneladas de concreto, cinco vezes mais que o consumo de aço. Além disso, o consumo de concreto sobre o consumo de aço ocorre na proporção de dez para um, em muitos países. BRUNAUER e COPELAND (1964 *apud* MEHTA e MONTEIRO, 1994), afirmam ainda que “o consumo mundial total de concreto em 1963 foi estimado em três bilhões de toneladas, ou seja, uma tonelada para cada ser humano vivo. Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água”.

Diante desse quadro, os estudiosos do assunto reconhecem que no Reino Unido e em muitos outros países, verifica-se uma falta cada vez mais acentuada de agregados naturais utilizáveis para concreto. O uso de agregados artificiais é uma etapa natural para a solução desse problema, e os agregados artificiais obtidos de detritos parecem ser uma solução conveniente (NEVILLE, 1982).

Segundo a ANEPAC, no Brasil, o consumo estimado de agregados apenas para a produção de concreto e argamassas no ano 2000, foi de 130 milhões de toneladas. Já em 2013 a mesma ANEPAC com o SINDIPEDRAS – São Paulo menciona que a produção de agregados alcançou a ordem de 770 milhões de toneladas. Estimativas como essas, sobre o aumento dos bens de consumo industrializados torna o estudo das questões da utilização dos rejeitos da indústria, e do seu impacto ambiental, cada vez mais relevantes para a vida humana.

O bloco de concreto surgiu como uma alternativa ao bloco cerâmico (tijolo de barro) e é um exemplo da permanente busca de alternativas na Engenharia, notadamente no setor de construção civil. Assim, a possibilidade de utilização de rejeitos de vidro que ocorre nos grandes centros urbanos representa uma possibilidade a ser pesquisada.

Acresce ainda que, para a aplicação adequada dos materiais de construção, sobretudo no contexto atual das sociedades industrializadas, é de fundamental

importância a sua caracterização tecnológica possibilitada por estudos do tipo experimental.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal dessa pesquisa é avaliar as propriedades mecânicas do concreto utilizado na confecção de blocos com a substituição integral do agregado miúdo natural, por agregado miúdo proveniente do resíduo de vidro triturado, a fim de contribuir para a diminuição do impacto ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

São os seguintes:

- a) relacionar alguns aspectos do desenvolvimento sustentável ao consumo de matérias-primas na construção civil, como alternativas de reaproveitamento e da reciclagem dos resíduos sólidos;
- b) determinar as características físicas e mecânicas do concreto fresco e endurecido executado com esse agregado miúdo que o influencia nas suas propriedades e em ambos os estados citados, a saber: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência na tração à flexão, módulo de elasticidade, coeficiente de *Poisson*, massa específica da amostra seca, retração hidráulica, absorção por imersão, absorção por sucção capilar e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas;
- c) descrever o programa experimental, detalhandoos materiais, os métodos utilizados, e suas características,os resultados obtidos nos ensaios e suas análises, bem como as relações entre os diversos parâmetros estudados.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa experimental pretende atender de maneira satisfatória aos ensaios propostos, utilizandona confecção de concreto, o pó de pedra e o vidro triturado como agregados miúdos e contemplando os passos a seguir relacionados.

Primeiramente, foi providenciada a obtenção do resíduo de vidro triturado em empresa recicladora, na cidade de Vespasiano, Minas Gerais; o procedimento posterior foi, com a utilização de uma betoneira obter uma mistura desses resíduos de vidro triturado, na mesma granulometria do AMN utilizado na confecção dos blocos de concreto; em seguida, ocorreu a confecção dos blocos na Pedreira São Sebastião Ltda., situada na rodovia BR 040 no quilômetro 14 em Três Rios, Rio de Janeiro; logo após, foi realizado o transporte para o laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais (IFSudesteMG), Campus Juiz de Fora, onde foram executados os ensaios.

Finalmente, com os resultados dos ensaios foram efetuadas as análises estatísticas necessárias para demonstrar os parâmetros pesquisados, a fim de sistematizar e explicitar as principais conclusões objetivas e elencar sugestões para futuras pesquisas.

1.4.1 Estrutura da pesquisa

Este trabalho é composto de seis capítulos, conforme o relato a seguir.

O Capítulo 1 constitui-se da introdução do relatório da pesquisa, destacando a problemática da questão, as justificativas e a metodologia deste estudo, bem como os objetivos e a estrutura desta apresentação formal.

No Capítulo 2 são discutidos os aspectos relacionados com o desenvolvimento sustentável, consumo de matérias-primas na construção civil e as alternativas de reaproveitamento e de reciclagem dos resíduos sólidos. São expostos, também, os conceitos de sustentabilidade e de reciclagem.

O Capítulo 3 analisa a influência dos agregados nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, além dos aspectos relativos às características e origem dos resíduos de vidro triturados.

No Capítulo 4 é descrito, detalhadamente, o programa experimental, suas características, materiais, métodos e ensaios realizados.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios, suas análises e as relações entre os diversos parâmetros estudados.

Finalmente, no Capítulo 6, são explicitadas as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Conceituar adequadamente sustentabilidade tem sido um desafio imposto em diferentes campos de conhecimento, não apenas na educação. Biólogos, sociólogas, antropólogos, economistas, entre outros, vêm promovendo debates em diferentes condições, tanto em termos de intradisciplinaridade como de interdisciplinaridade. Configurada então, como um conceito sistêmico, a sustentabilidade é também, matéria de interesse na construção civil, na medida em que para ser efetivada precisa levar em conta os aspectos econômicos, sociais, políticos e culturais de determinado agrupamento humano.

Na atualidade a sustentabilidade significa que no tripé ambiente/economia/sociedade os três elementos devem ser considerados de uma maneira integrada, caso contrário não se tem um desenvolvimento sustentável (AGOPYAN, 2011). Para países como o Brasil com graves problemas sociais e econômicos, o desafio é evoluir economicamente, atendendo-se às expectativas da sociedade e mantendo-se o ambiente sadio para a atual e as futuras gerações.

O futuro da sustentabilidade inscreve-se numa realidade social onde o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico são as ferramentas corretas a serem utilizadas em seu benefício e qualidade de vida dos povos. A sustentabilidade é uma meta que obrigatoriamente tem que ser perseguida por toda a sociedade e em todos os níveis, para tanto se faz necessário o conhecimento por parte de todos, seja da população, das fábricas, do comércio e dos governos municipal, estadual e federal que devem estar articulados dentro de uma visão sistêmica. Sobretudo aos governos cabe gerar incentivos (benefícios), conhecimentos, normas, leis, decretos e sistemas autogerenciáveis de controle do cumprimento às normas, leis e decretos preestabelecidos.

O setor da construção civil pode dar forte contribuição à sustentabilidade do planeta, para tanto se faz necessário uma ampla alteração nos códigos de obras das cidades, conjuntamente com a educação ambiental nos mais diversos segmentos da sociedade.

A cadeia produtiva da construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído, que precisa ser permanentemente atualizado e mantido. O ambiente construtivo implica em consideráveis impactos ambientais, incluindo grande quantidade de extração de matérias primas, produção e transporte de materiais, mão de obra, água, energia e geração de resíduos.

Atualmente, são inúmeras as evidências da deterioração do meio ambiente e suas consequências na escala global, cuja responsabilidade é do ser humano em sua forma de habitar e explorar os recursos do meio ambiente.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

O crescimento industrial vem acompanhado de avanços tecnológicos e científicos que visam o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população. Uma das consequências desse processo é a geração de resíduos dos mais variados tipos, que podem ser danosos ou não, ao meio ambiente e à vida da população.

Os vários processos industriais geram uma infinidade de resíduos que, por vezes, não encontram uma aplicação definida. A fim de orientar a sociedades sobre as formas adequadas de aproveitamento destes resíduos, foram criados vários instrumentos legais, dentre os quais são relevantes para esta pesquisa, os que estão a seguir relacionados.

A NBR 10004:2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

A NBR 15116:2004 estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

A Resolução CONAMA 307 de 05.07.2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. A gestão do resíduo na construção civil abrange a geração do resíduo em obras, a captação e transporte até o aterro e a recepção no aterro licenciado.

Dentre os mais variados resíduos gerados no Brasil merecem destaque os resíduos de vidro. O Brasil encontra-se entre os principais fabricantes de vidro do mundo e 90% de sua produção destinam-se a vidros planos e ocas do tipo sodo-

cálcicos. Estima-se que o consumo per capita de vidro no Brasil seja da ordem de 12 kg ao ano (ROSA *et al.*, 2007).

De acordo com o CEMPRE (2008), no Brasil, para produzir em torno de um milhão de toneladas de embalagens de vidro, foram utilizadas 470 mil toneladas ao ano, de caco e 530 mil toneladas ao ano, de matéria-prima. Parte desse material foi gerado como refugo nas fábricas e parte retornou por meio da coleta. Em 2008, o setor faturou cerca de 1,4 bilhão de reais. No Brasil, 47% das embalagens de vidro são recicladas, o que equivale a 470 mil toneladas ao ano. Desse total, 40% são oriundos da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, hotéis, *etc.*) e 10 % do refugo da indústria.

De um modo geral, ocorre um grande desperdício de resíduos potencialmente recicláveis e notadamente na geração de resíduos de vidro que assume valores expressivos. A partir desta constatação, esta pesquisa demonstra a viabilidade tecnológica de uma alternativa para a substituição do agregado miúdo na argamassa ou no concreto, por resíduos de vidro não reciclado.

2.3 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A elevada produção de resíduos sólidos é um problema mundial. Encontrar soluções adequadas para a disposição final dos resíduos provenientes das diversas indústrias e da sociedade representa um grande desafio para o meio científico e tecnológico, tendo em vista os graves problemas ambientais que podem ser gerados por uma disposição inadequada.

No concreto, pode-se aplicar agregado reciclado em peças não estruturais, sendo vetado o uso em peças estruturais usadas em fundações, pilares, vigas, lajes. A definição da NBR 15116:2004 de concreto com agregado reciclado é: "material destinado a usos como enchimento, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas e placas de muro". Uma aplicação usual do agregado reciclado em concreto é preparar concretos com consumo de cimento de até 150 kg/m³.

O veto ao uso em peças estruturais não chega a ser um grande problema, pois há muitos serviços onde se emprega concretos não estruturais, tais como: base para piso, revestimento de pisos, enchimentos em alvenaria, contrapiso, reforços de

menor responsabilidade, produção de blocos de vedação, tubos e canaletas de drenagem, meio-fio, sarjetas, mourões, briquetes para pavimentação, etc.

A Resolução CONAMA 307 de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, tanto para os geradores (empresas construtoras) quanto às administrações públicas, por considerar que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental. Considera ainda que a gestão de resíduos da construção deve ser integrada (empresas e prefeituras) e proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental para minimizar os impactos.

A abordagem do tema “Reaproveitamento de resíduos na área do ambiente construído” revela uma importante reversão no nível de prioridade que o assunto normalmente preenchia, não apenas na concepção e produção das edificações, mas nas cadeias produtivas do setor da construção civil.

A legislação própria, relacionada aos resíduos gerados pelo setor, estabelece a responsabilidade pela geração do que antes era conhecido apenas por entulho ou “bota-fora de obra”. Com o desenvolvimento dos estudos sobre a responsabilidade do setor em relação aos problemas ambientais que o cercam, tem-se hoje um certo avanço no que diz respeito à consciência da necessidade de se repensar os usos de materiais e processos construtivos para que não causem danos ao homem e ao meio ambiente.

A importância do aproveitamento de resíduos em uma quantidade significativa, voltada para a habitação de interesse social, deve-se basicamente a dois fatores:

- a) a possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo, a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, por meio da investigação de suas potencialidades;
- b) a interface direta do setor da construção com a cadeia produtiva fornecedora de insumos, bens minerais, e, indiretamente, por meio do potencial uso de materiais e processos que causem mínimo impacto na cadeia produtiva.

Já existem algumas aplicações de concreto e argamassas utilizando-se o agregado miúdo de vidro triturado em substituição ao agregado miúdo natural, assim como pesquisas para a substituição do agregado miúdo natural por mármore e granito triturados, a saber: COURA (2009), Análise experimental sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto: Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói e KITAMURA (2011) Estudo experimental sobre a influência da substituição do agregado miúdo natural por granito triturado, nas propriedades do concreto de cimento *portland*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói.

Dentre algumas pesquisas nesse campo, destaca-se a que utilizou o concreto produzido com parte de resíduo de vidro, na Ilha de Fernando de Noronha (PE), elaborada por (SILVA *et al.*, 2011).

Outra, segundo PEYVANDI *et al.*(2013), que vem sendo desenvolvida desde 2008, na Universidade do Estado de Michigan, tem conduzido experimentos com concreto utilizando vidro triturado, sendo aplicados em pisos e sarjetas.

3 O VIDRO COMO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O vidro é um material 100% reciclável e largamente utilizado no mundo todo. As suas propriedades mecânicas incluem elevados valores de resistência à compressão, à tração, à flexão e ao desgaste. Além disso, mais de 70% de sua matéria é constituída por sílica (SiO_2), o que lhe confere boas propriedades pozolânicas, caracterizando-o como um potencial material constituinte para o concreto.

Por ser um material de elevada massa específica e com alto custo de transporte entre o local da origem de sua utilização e o local de reciclagem, o vidro é descartado incorretamente em depósitos de lixo e aterros sanitários. A viabilização técnica do uso desse resíduo pode ajudar a solucionar o impacto ambiental causado por esse material.

PETRUCCI (2007) considera a utilização do concreto com vidro possível, por dois motivos.. Uma delas é que o vidro adere perfeitamente ao cimento pois a adesividade é de natureza molecular, e a outra é que o coeficiente de dilatação do vidro é vizinho daquele do concreto e do aço e, na verdade, ligeiramente menor.

3.2 VIDRO

3.2.1 Composição

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida do resfriamento de uma massa à base de sílica em fusão. As composições individuais dos vidros são muito variadas, pois pequenas alterações são realizadas para proporcionar propriedades específicas, tais como índice de refração, cor, viscosidade. O que é comum a todos os tipos de vidro é a sílica, que é a sua base, cuja composição é Sílica (SiO_2), igual a 72% de matéria-prima básica (areia) com função vitrificante.

É também e fundamentalmente um composto formado por óxidos de sílica (72%) e de sódio (12%), muito embora outros elementos tomem parte dessa composição final, tais como o sódio, cálcio, magnésio, alumínio e potássio (Quadro 3.1).

O vidro é um produto inorgânico de fusão que foi resfriado até atingir condição de rigidez sem se cristalizar. As principais propriedades físico-químicas e seus atrativos são mostradas no Quadro 3.2.

SHACHELFORD (2008) relata que o vidro é um material, sólido não-cristalino de óxido tradicional. Os silicatos, especialmente, têm custo moderado devido à abundância dos elementos S_i e O na crosta terrestre. Apesar de ser um material frágil, o vidro, porém, não é fraco; tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém, não é tenaz nem apropriado para aplicações sujeitas a impactos.

COMPONENTE	FÓRMULA	%	FUNÇÃO
Óxido de Sílica – Areia	SiO_2	74	Vitrificante
Oxido de Sódio	Na_2O	12	BaixaopontodefusãoodaSílica
Óxido de Cálcio	CaO	9	Estabilidade
Óxido de Magnésio	MgO	2	Resistência Mecânica
Óxido de Alumínio	Al_2O_3	2	Resistência
Potássio	K_2	1	Estabilidade

Quadro 3.1: Principais componentes do vidro simples e suas funções.

Fonte:

http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/Projeto_Cezar/cap%206%20vidro.pdf. Acesso em maio 2014.

PROPRIEDADES FÍSICAS	ATRATIVOS
<i>Dilatação térmica muito baixa</i>	<i>Transparente</i>
	<i>Inerte</i>
	<i>Prático e versátil</i>
	<i>Reutilizável</i>
	<i>Higiênico</i>
<i>Alta durabilidade</i>	<i>Impermeável</i>
<i>Baixa condutividade elétrica</i>	<i>Retornável</i>
<i>Ótima resistência à água e a líquidos salgados bem como substâncias orgânicas, álcalis e ácidos, com exceção ao ácido fluorídrico e fosfórico</i>	<i>Reciclável</i>

Quadro 3.2: Principais propriedades físico-químicas e atrativos do vidro.

Fonte: COELHO (2007). Disponível em: http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/Projeto_Cezar/cap%206%20vidro.pdf. Acesso em maio de 2014.

Uma das razões do vidro ser tão popular e duradouro talvez esteja na sua composição, pois os vidros mais comuns, aqueles destinados aos vidros planos e embalagens, que são denominados “silício-sodo-cálcicos” têm uma composição química muito parecida com a da crosta terrestre(Quadro 3.3).

Óxido	% <i>nacrosta</i> terrestre	% <i>nosvidros</i> comuns
<i>SiO₂ (sílica)</i>	60	74
<i>Al₂O₃ (alumina)</i>	15	2
<i>Fe₂O₃ (óxido de ferro)</i>	7	0,1
<i>CaO (cálcio)</i>	5	9
<i>MgO (magnésio)</i>	3	2
<i>Na₂O (sódio)</i>	4	12
<i>K₂O (potássio)</i>	3	1

Quadro 3.3: Composição química da crosta terrestre e dos vidros comuns.

Fonte: http://www.achetudoeregiao.com.br/lixo_recicle/vidro_sua_historia.htm, Acesso em fevereiro de 2014.

3.2.2 Propriedades físicas

BARROS(2010) relaciona as seguintes propriedades físicas do vidro em comparação com outros materiais: densidade, dureza, resistência à abrasão, coeficiente de condutibilidade térmica, calor específico, coeficiente de dilatação térmica, resistência química.

3.2.2.1 Densidade do vidro

As densidades são muito variáveis, normalmente é aceitável 2,5, o que dá uma massa de 2,5 kg/dm³ por mm de espessura para vidros planos, isto é:

- cristal ordinário 3,33;
- vidro para óculos 2,46;
- vidro ordinário 2,56;
- vidro para garrafas 2,64.

3.2.2.2 Dureza

Para determinar a dureza superficial, isto é, a resistência ao ser riscada por outro material, utiliza-se a escala de MOHS.

- O vidro tem dureza 6,5 entre o feldspato 6,0 e o quartzo 7,0.
- O aço dúctil tem dureza 6,0.
- O aço ferramenta entre 7,0 e 8,0.
- A areia tem dureza 7,0.
- Mármore e granitos entre 3,5 e 4,5.

Piso de concreto polido com resistência a compressão de 35 MPa a dureza fica entre 6,0 e 7,0.

3.2.2.3 Resistência à abrasão

- O vidro é dezesseis vezes mais resistente que o granito.

3.2.2.4 Coeficiente de condutibilidade térmica

- No vidro tem-se o valor médio de $K = 0,79 \text{ Kcal/hm } ^\circ\text{C}$.
- Na água tem-se o valor médio de $K = 0,61 \text{ Kcal/hm } ^\circ\text{C}$.
- No concreto tem-se o valor médio de $K = 1,30 \text{ Kcal/hm } ^\circ\text{C}$.
- No concreto celular tem-se o valor médio de $K = 0,61 \text{ Kcal/hm } ^\circ\text{C}$.
- No ar tem-se o valor médio de $K = 0,03 \text{ Kcal/hm } ^\circ\text{C}$.

3.2.2.5 Calor específico

- No vidro tem-se $C = 0,19 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$ a $C = 0,20 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$.
- 5 a 10 vezes maior do que o da água (PETRUCCI, 2007).
- No cimento tem-se $C = 0,20 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$.
- No concreto $C = 0,18 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$.
- Água $C = 1,00 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$.

3.2.2.6 Coeficiente de dilatação térmica

- No vidro tem-se $\alpha = 8,6 \times 10^{-6}$.
- No concreto tem-se uma variação de $\alpha = 8,6 \times 10^{-6}$ a $\alpha = 11,9 \times 10^{-6}$.

3.2.2.7 Resistência química

O vidro é praticamente inalterável na água, que dissolve em quantidades muito pequenas os álcalis nele contidos. O ácido fluorídrico ataca o vidro (PETRUCCI, 2007).

3.2.3 Propriedades mecânicas

São elas: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, resistência à tração, resistência à compressão e resistência à flexão.

3.2.3.1 Módulo de elasticidade

O vidro é um material perfeitamente elástico, pois nunca apresenta deformação permanente. No entanto é frágil, ou seja, submetido a uma flexão crescente rompe sem apresentar sinais precursores.

- Módulo de elasticidade do vidro é de 60 GPa a 80 GPa;
- Módulo de elasticidade do granito é da ordem de 17 GPa a 77 GPa;
- Módulo de elasticidade do aço é da ordem de 210 GPa;
- Módulo de elasticidade da madeira é de 8GPa a 10 GPa;
- Módulo de elasticidade do concreto deve ser obtido segundo ensaios da NBR 8522:2008. Quando não forem realizados ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando-se a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{0,5} \quad (3.1)$$

Assim para um $f_{ck} = 40$ MPa o módulo de elasticidade é de 35 GPa.

O concreto é tão mais deformável quanto menor for seu módulo de elasticidade (L'HERMITE, 1967) cujos parâmetros que o influencia são apresentados no Quadro 3.4.

Agregados	Pasta	Zona de transição	Execução da estrutura
<i>Tipo</i>	<i>Resistência</i>	<i>Porosidade</i>	<i>Adensamento</i>
<i>Módulo</i>	<i>Relação a/c</i>	<i>Composição</i>	<i>Cura</i>
<i>Proporção</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Idade</i>	<i>Idade do carregamento</i>
<i>Quantidade</i>	<i>Idade</i>	<i>Resistência</i>	<i>Umidade</i>
<i>Forma</i>	Ensaio		
<i>Textura</i>	<i>Corpos de prova</i>		<i>Temperatura</i>
	<i>Aparelhagem</i>		

Quadro 3.4: Parâmetros que influenciam os valores de E_c
 Fonte: www.abcc.org.br/Concrete_show_2008/palestras/Ines_Battagin.pdf. Acesso em fevereiro de 2014.

3.2.3.2 Coeficiente de *Poisson*

No vidro esse coeficiente é da ordem de 0,22, e no concreto varia de 0,11 a 0,21. A NBR 6118:2014 admite que o $\nu=0,20$.

3.2.3.3 Resistência à tração

A resistência à tração do vidro varia de 3MPa a 70 MPa e depende dos seguintes fatores:

- duração da carga para cargas permanentes, a resistência à tração diminui em cerca de 40%;
- umidade diminui em cerca de 20%;
- a resistência diminui com aumento da temperatura;
- estado da superfície, função do polimento;

- corte e estado dos bordos;
- os componentes e suas proporções.

No concreto, é da ordem de 10% da resistência à compressão.

3.2.3.4 Resistência à compressão

A resistência do vidro à compressão é muito elevada, cerca de 1000 MPa. Em termos práticos significa que para quebrar um cubo de 1 cm de lado a força necessária será da ordem de 100 kN.

- A resistência do granito à compressão é da ordem de 117 MPa.
- A resistência do concreto depende do material, dosagem, condições de produção e cura e atinge com razoável facilidade 40 MPa.

3.2.3.5 Resistência à flexão

Um vidro submetido à flexão tem uma das faces solicitada à compressão e a outra, à tração. A resistência à ruptura por flexão é da ordem de:

- 40 MPa para um vidro recozido;
- 120 a 200 MPa para um vidro temperado (segundo a espessura, manufatura dos bordos e tipo de fabrico).

As propriedades físicas e mecânicas acima caracterizadas são relevantes para uma maior compreensão da utilização do vidro como alternativa na substituição do AMN (BARROS, 2010).

3.3 RECICLAGEM DO VIDRO

Desde os primórdios da fabricação do vidro o homem sempre reutilizou ou reciclou o vidro para fabricar novas peças, buscando economizar as matérias-primas. O vidro é então um material que pode ser reciclado inúmeras vezes.

Nos Estados Unidos e na Europa, a reciclagem já vem sendo realizada desde a década de 1970. No Brasil, em 1985, foi implantado o primeiro programa racional de aproveitamento do vidro. Existem hoje em diversas cidades brasileiras programas permanentes de reciclagem do vidro, empregando mão de obra não

qualificada para suprir as necessidades das fábricas de vidro, contribuindo assim, para dar um meio de subsistência a grupos carentes.

Os dois principais motivos para a reciclagem, são:

- 1) proteção do meio ambiente porque diminui o volume dos lixões, retirando um material que, de outro modo, lá permaneceriam de 4000 anos a tempo indefinido;
- 2) reduz a poluição atmosférica, pois permite que os fornos operem a temperaturas mais baixas, reduzindo assim a emissão de dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, ao mesmo tempo economizando até 22% no consumo de energia.

Permite também um aumento da vida útil dos fornos, pois trabalham em temperaturas mais baixas, reduzindo o desgaste dos refratários, assim como a redução no consumo de matérias-primas como a areia, calcário e barrilha. Esses materiais têm custo mais elevado que o resíduo de vidro, além de facilitar o processo de fusão e refino.

Para ser reciclado o vidro deve estar isento de materiais estranhos, como papel, plásticos, madeira, louça, tijolos, cerâmicas, ferro, alumínio e cobre. Ressalte-se que vidros de composições diferentes não podem ser misturados.

As divisas nacionais são também economizadas pois parte da barrilha, material utilizado na fabricação do vidro, é importada devido a sua escassez no Brasil.

3.4 VIDRO A SER ESTUDADO

O resíduo de vidro utilizado nesta pesquisa é do tipo de segurança o laminado e o temperado, ambos utilizados em automóveis.

O vidro laminado cujo conjunto é mantido quando está estilhaçado. São vidros compostos por duas ou mais placas de vidro, unidas por uma ou mais camadas intermediárias de polivinilbutiral (PVB) ou resina (Figura 3.1). Quando o vidro é quebrado, os estilhaços ficam presos nessa camada intermediária. Essa característica produz efeito de uma "teia de aranha" quando o impacto não é totalmente suficiente para furar o vidro. Na (Figura 3.2) temos os vidros temperados.

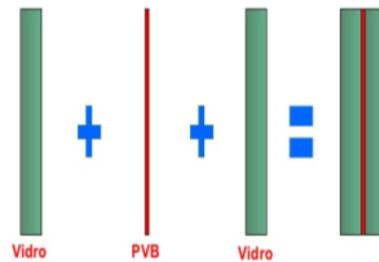


Figura 3 **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento..1:**
Montagem do vidro laminado.

Fonte: <http://pt.slideshare.net/viminas/vidro-laminado-com-pvb>.
Acesso em maio de 2014.



(a) Vidro laminado

(b) Vidro temperado.

Figura 3.2: Para-brisas quebrados fabricados com vidro laminado e temperado.
Fonte: http://www.achetudoeregiao.com.br/lixo_recicle/vidro_sua_historia.htm. Acesso em março de 2014.

O vidro laminado foi inventado em 1903 pelo químico francês Edouard Benedictus, inspirado por um acidente em seu laboratório. Um frasco de vidro com um revestimento plástico caiu e quebrou, mas seus estilhaços se mativeram unidos. A primeira utilização generalizada de vidro laminado foi nas máscaras de gás, durante a Primeira Guerra Mundial.

É normalmente utilizado quando existe uma possibilidade de impacto humano, como em para-brisas de automóveis, e onde se deseja ter maior segurança, como em janelas e vitrines; ou onde não pode cair o vidro quebrado, como em claraboias e corrimãos.

Atualmente, o destino desses materiais que não são reciclados é o aterro sanitário, e só no Brasil são descartados cerca de 120 mil para-brisas por mês. Como cada um deles pesa 15 kg, sendo 14 kg de vidro e 1 kg de PVB, aproximadamente 1,8 mil toneladas do produto termina mensalmente nos aterros. Se o cálculo for feito para um ano, encontra-se o valor de 21,6 mil toneladas de vidro

laminado, lembrando que o PVB leva 500 anos para ser assimilado pela natureza e o vidro é praticamente indestrutível (VARGAS e WIEBECK, 2007).

O polivinil butiral é uma película plástica e elástica aplicada entre as chapas de vidro. Estão disponíveis no mercado películas transparentes, coloridas e impressas. É nessa película que os fragmentos de vidro ficam presos em caso de quebra. Devido a essa camada, o vidro laminado tem um melhor isolamento acústico, face ao efeito amortecimento entre as placas de vidro; esse vidro bloqueia 99% dos raios ultravioleta transmitidos (Figura 3.3).



(a) Bobinado

(b) Solto

Figuras 3 **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento..1:**
Polivinilbutiral.

Fonte: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4502-o-que-e-polivinil-butiral/>.
Acesso em março de 2014.

O vidro temperado é obtido por meio de um processo denominado têmpera, que compreende o aquecimento da matéria prima a cerca de 700°C e, em seguida, a aplicação de jatos de ar para o resfriamento controlado e rápido do material. Esse choque térmico produz no vidro ainda sob pressão tensões que se distribuem de forma uniforme sobre sua inteira superfície. Em resultado, o vidro torna-se mais resistente à compressão. Ao passo que a resistência típica do vidro comum é de cerca de 40 MPa, a tensão do vidro temperado é de cerca de 100 MPa. Logo, a resistência efetiva do vidro temperado será de 140 MPa, entre três a cinco vezes mais resistentes que o vidro comum.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados no programa experimental, considerando o embasamento teórico realizado pela revisão da literatura já apresentada. Procura-se avaliar neste estudo, as propriedades mecânicas dos concretos obtidos com a substituição total do agregado miúdo natural por agregado triturado, proveniente do resíduo de vidro em concretos de cimento *Portland*, notadamente na confecção de blocos de concreto, fornecendo-se assim, uma nova alternativa em termos do conhecimento e do aproveitamento deste resíduo como agregado para concreto.

A Figura 4.1 apresenta o organograma do estudo experimental, onde se observa, numa primeira etapa, a produção de blocos, prismas e corpos de prova com agregado miúdo natural (AMN), ou pó de pedra, e em uma segunda etapa, a produção de blocos, prismas e corpos de prova com o agregado miúdo de vidro triturado (AMVT) em substituição ao pó de pedra (AMN).

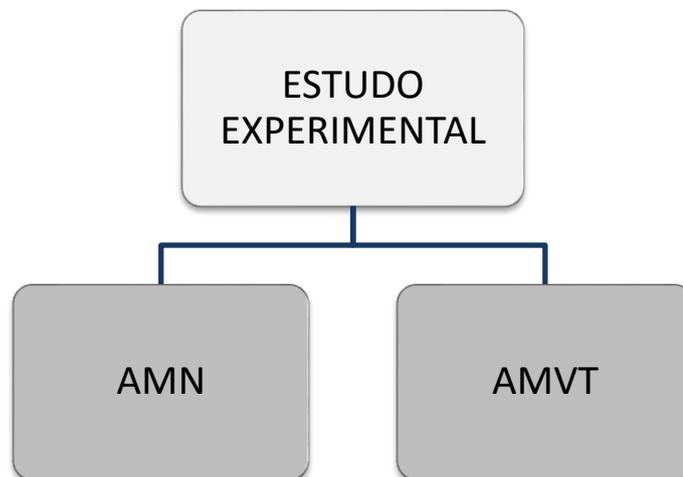


Figura 4.1: Esquema do programa experimental.

Observa-se na Figura 4.2 os ensaios realizados com AMN nas diversas resistências estimadas e na Figura 4.3 os ensaios realizados com AMVT nas diversas resistências estimadas.

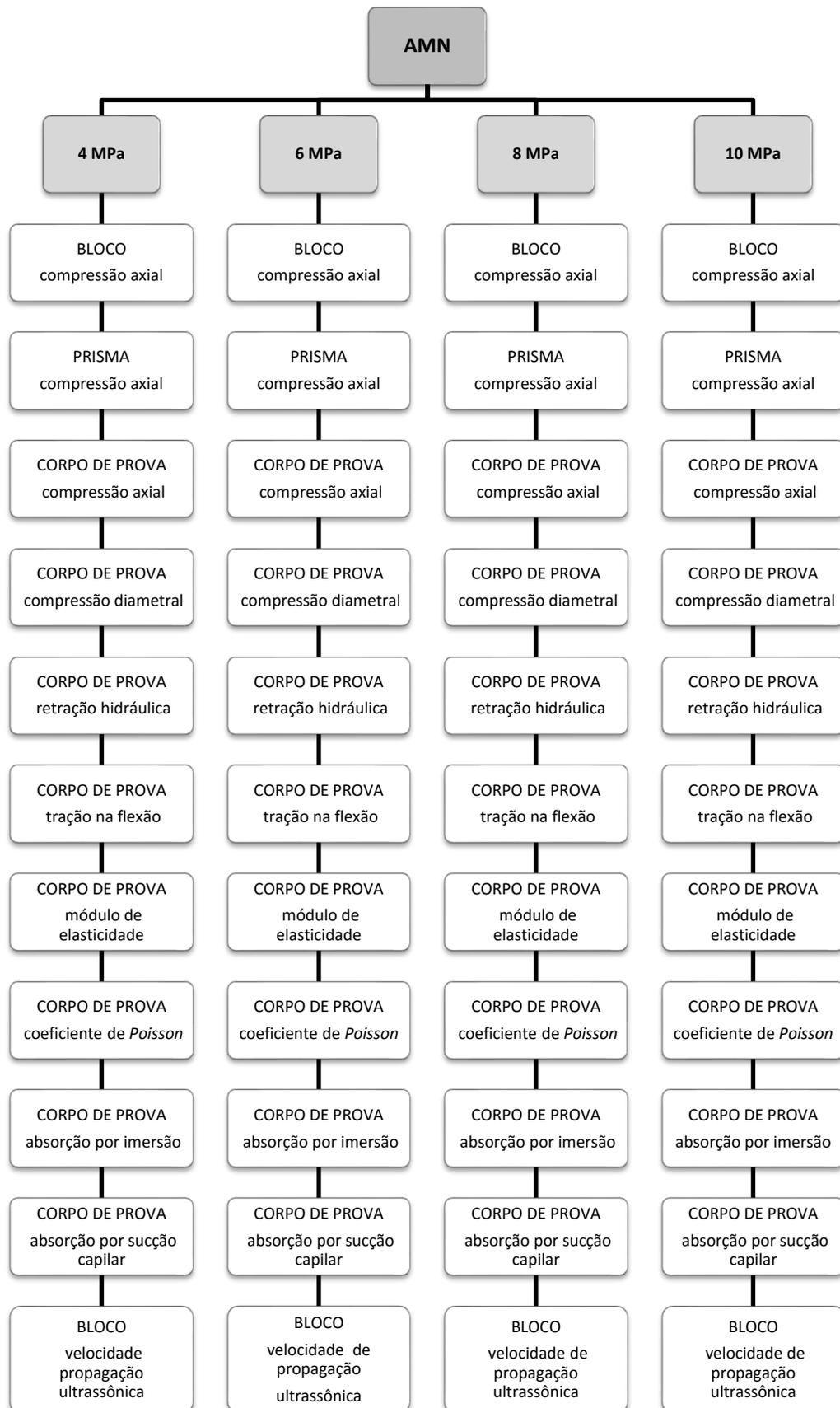


Figura 4.2: Esquema do programa experimental com AMN.

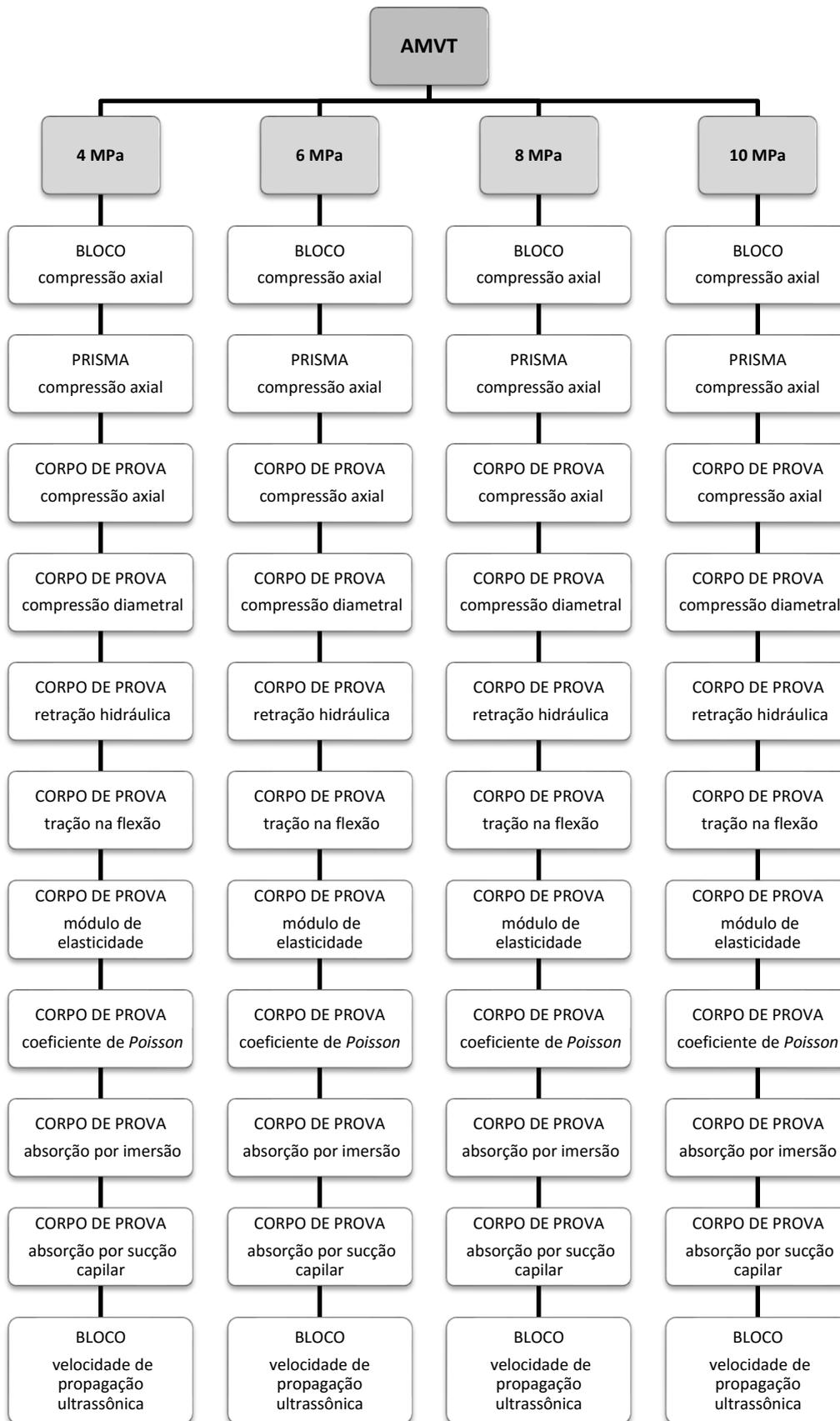


Figura 4.3: Esquema do programa experimental com AMVT.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1 Agregado miúdo de vidro triturado – AMVT

O modo mais eficiente para a obtenção do vidro triturado foi encontrado em uma recicladora de vidro na cidade de Vespaziano, próxima a Belo Horizonte, em Minas Gerais, chamada GTGlass Eco (Figura 4.4), localizada na rua Barbacena, nº 195, Jardim da Glória. Com os resíduos de vidro, esta empresa produz o vidro triturado para diversas utilidades, tais como: jateamento de peças metálicas, produção de micro esfera de vidro utilizada na produção de tintas de demarcação e refletivas, produção de pisos, *etc.*

Triturado o vidro, faz-se a separação através de peneiras, de modo a atender as diversas demandas conforme a sua futura utilização. A matéria-prima mais utilizada são sobras de vidraçaria e de para-brisas de automóveis, ambos considerados como materiais que produzem um produto final de qualidade, isto é, limpo.

Para atender as necessidades do estudo experimental, foi enviado à recicladora, os percentuais das diversas peneiras da curva granulométrica do pó de pedra utilizado pela Pedreira São Sebastião, para a fabricação dos blocos de concreto.

Recebido o AMVT da recicladora o mesmo foi dosado e depois, misturado em uma betoneira de eixo inclinado para atender a granulometria fornecida do AMN.



Figura 4.4: Indústria recicladora de vidro – Resíduo de vidro.

Após a mistura o AMVT (Figura 4.5) foi embalado em sacos de aproximadamente vinte quilos e transportado para a indústria de blocos.



Figura 4.5: Vidro na granulometria do pó de pedra para ser encaminhado à indústria de fabricação dos blocos.

4.2.2 Agregado miúdo natural (AMN) – pó de pedra

O pó de pedra (Figura 4.6) é um material de origem mineral finamente dividido em grânulos, composto basicamente de SiO_2 (dióxido de silício), com diâmetro variando de 0,063 mm a 2,0 mm. Forma-se por processos industriais de britagem. É utilizado nas obras de Engenharia Civil, em aterros, execução de argamassas e concretos.

Os agregados exercem grande influência nas propriedades do concreto e são materiais granulosos provenientes de rochas estáveis sendo classificados, segundo as dimensões, em miúdos e graúdos. Os miúdos são representados pela areia e os graúdos, pelas britas.

Quando do desenvolvimento dos primeiros estudos de concreto de cimento Portland, acreditava-se que os agregados tinham apenas a função de enchimento, tratando-se assim somente de um material granular inerte destinado a baratear o custo final de produção do concreto. Com o passar do tempo, os experimentos realizados demonstraram que a origem e as características dos agregados são relevantes no comportamento do concreto.



Figura 4.6: Pó de pedra.

Muitas propriedades do concreto são influenciadas pelas características dos agregados, tais como: porosidade; composição granulométrica; absorção d'água; estabilidade, forma e textura superficial dos grãos; resistência mecânica; módulo de deformação e substâncias deletérias presentes.

A massa específica (ou porosidade), a composição granulométrica, a forma e a textura superficial dos agregados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco.

A porosidade e a composição mineralógicas afetam a resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade e integridade, que por sua vez influenciam as propriedades do concreto endurecido.

O produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada é a areia artificial ou areia industrial (pó de pedra). Após a perfuração da rocha, de acordo com o plano de fogo, as pedras são transportadas ao conjunto de britagem até que atinjam granulometria menor que 4,8 mm. Na maioria dos processos industriais, esse produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes.

A areia artificial tem diversos usos, ainda que dependendo da sua granulometria, quais sejam:

- areia média fina (0,075 – 1,20 mm): argamassa para levantamento de alvenarias, reboco e serviços em que são utilizadas as argamassas em geral;
- areia média grossa (0,075 – 4,80 mm): concretos estruturais confeccionados em obras e pré-fabricados e serviços em que são utilizados os concretos em geral;
- com 4,80mm e pequena porcentagem de finos (<0,075): salpique para reboco de alvenarias, asfaltos em geral, blocos pré-fabricados em geral e concretos compactados a rolo.

Cumprindo acrescentar que a areia artificial é considerada um produto alternativo com melhor custo/benefício, em termos de redução de matéria-prima e custo total da obra, justamente porque sua produção pode ser realizada nos canteiros das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos.

Com uma amostra do pó de pedra da fabrica de blocos traçou-se a curva granulométrica no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora, Figura 4.7 e Figura 4.8.



Figura 4.7: Granulometria do pó de pedra 6,3 mm a 1,2 mm.



Figura 4.8: Granulometria do pó de pedra 0,6 mm a fundo.

A NBR 7211:2009 fixa as características exigidas para agregados que podem ser de origem natural ou resultante de processo de cominuição (britagem) de rochas estáveis. Dessa forma define agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da cominuição (britagem) de rochas, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Assim, o ensaio granulométrico foi realizado conforme a NBR NM 248:2003. As peneiras foram movimentadas com o auxílio do agitador mecânico associado ao processo manual. O material retido em cada peneira foi pesado com uma balança digital de precisão de 0,01g. A partir da porcentagem do peso do agregado presente também em cada peneira, foi possível confirmar a curva granulométrica fornecida anteriormente pela fábrica, juntamente com o diâmetro máximo e o módulo de finura.

Já com o AMVT misturado nas diversas porcentagens procedeu-se a determinação da curva granulométrica do AMVT para verificar sua semelhança com a curva do AMN, Figura 4.9 e Figura 4.10.



Figura 4.9: Granulometria do vidro 6,3 mm a 1,2 mm.



Figura 4.10: Granulometria do vidro 0,6 mm a fundo.

4.2.3 Agregado graúdo (AG)

A NBR 7211:2009 fixa as características exigidas para os agregados graúdos como agregados que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. O agregado graúdo utilizado em blocos de concreto é a chamada brita zero, em que a granulometria varia de 4,8 mm a 9,5 mm.

O concreto dos blocos e dos corpos de prova utilizaram agregados nas seguintes granulometrias; pó de pedra de 0 a 5 mm, brita 00 de 3 a 5 mm e brita 0 de 5 a 12 mm (Figura 4.11).



(a) Pó de pedra

(b) Brita 00

(c) Brita 0

Figura 4.11: Agregados do concreto dos blocos e corpos de prova.

4.2.4 Água

Em toda a pesquisa foi utilizada água proveniente de poço artesiano localizado na região da pedreira, bastante distante de áreas de contaminação e utilizado na produção dos blocos de concreto da fábrica.

4.2.5 Cimento

Nesta pesquisa, foi utilizado o cimento *CPV ARI PLUS*, fabricado pela HOLCIM do Brasil S.A, que atende a NBR 5733:1991, cujo relatório dos ensaios encontra-se no Anexo C.

4.2.6 Aditivo

Na produção dos blocos e dos corpos de prova foi utilizado o Rheomix 610 da Basf, um aditivo líquido com características plastificante e redutor de água, que permite maior trabalhabilidade e durabilidade. A ficha técnica do produto é apresentada no Anexo D.

4.2.7 Controle dos materiais

O concreto fresco ou endurecido pode ter a sua qualidade alterada dependendo das características dos materiais utilizados, cujas variações ou substituições de materiais por outros, por qualquer razão que seja, deverão ser conhecidas em tempo hábil. Isso possibilita as correções necessárias na mistura ou nos procedimentos, para que as propriedades finais não sejam comprometidas. O Quadro 4.11 fornece uma ideia geral sobre a influência dos materiais nas propriedades do concreto.

<i>COMPONENTE</i>	<i>PROPRIEDADES</i>	<i>INFLUÊNCIA</i>
<i>Agregado Graúdo</i>	<i>Natureza</i>	<i>Pequena</i>
	<i>Forma</i>	<i>Variável</i>
	<i>Granulometria</i>	<i>Pequena</i>
	<i>Resistência</i>	<i>Variável</i>
<i>Agregado Miúdo</i>	<i>Natureza</i>	<i>Pequena</i>
	<i>Forma</i>	<i>Média</i>
	<i>Granulometria</i>	<i>Média</i>
	<i>Finura</i>	<i>Grande</i>
	<i>Impurezas</i>	<i>Grande</i>
<i>Cimento</i>	<i>Tipo</i>	<i>Variável</i>
	<i>Procedência</i>	<i>Variável</i>
<i>Água</i>	<i>Impurezas Nocivas</i>	<i>Grande</i>

Quadro 4.11: Influência dos materiais nas propriedades do concreto
Fonte: ROMANO, 2004.

4.3 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS

RECENA (2011) relata que a otimização do agregado passa necessariamente por um estudo visando a composição mais adequada de no mínimo dois agregados miúdos, com vistas à obtenção de um agregado de menor diferença possível entre a massa específica e massa unitária, de maneira a viabilizar a obtenção de um traço adequado à finalidade a que se destina com a menor quantidade de pasta.

Neste estudo experimentalas massas específicas e unitárias do pó de pedra e do vidro encontram-se nos Anexos A e B, respectivamente:

Para o AMN: $2,66 \text{ kg/dm}^3 - 1,51 \text{ kg/dm}^3 = 1,15 \text{ kg/dm}^3$.

Para o AMVT: $2,54 \text{ kg/dm}^3 - 1,35 \text{ kg/dm}^3 = 1,19 \text{ kg/dm}^3$.

O AMVT apresenta-se ligeiramente maior que o AMN.

4.3.1 Resistência mecânica dos agregados

As rochas ígneas, assim como a escória de alto forno resfriadas ao ar, apresentam resistências médias à compressão da seguinte ordem (BAUER, 1995):

–granito (serra da Cantareira, SP)	154 MPa;
–granito (Rio, RJ)	120 MPa;
–basalto	150 MPa.

A resistência insuficiente dos agregados representa um caso limite de como as propriedades dos agregados têm influência sobre a resistência do concreto, mesmo que o agregado seja bastante resistente para não se romper antes do concreto (NEVILLE, 1982).

4.3.2 Módulo de deformação dos agregados

O módulo de deformação do concreto é, geralmente, tão grande quanto o módulo dos agregados, ainda que também dependa de outros fatores. O módulo de deformação dos agregados também influencia a intensidade dos fenômenos de fluência e retração que aparecem no concreto.

O módulo de deformação é, em geral, grande, o que se reflete também em valores elevados dessa característica nos concretos, dentro de certos limites. Os granitos, basaltos e calcários têm módulo de deformação geralmente compreendidos entre 40 e 80 GPa.

4.3.3 Massa específica dos agregados

Definida como a razão entre a massa do agregado seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis, a massa específica dos agregados é determinada pela NBR MN 52:2009 e com a utilização do frasco de *Chapman* (Figura 4.12).

Assim, foi constatado que ela depende da composição mineralógica, o que é muito importante, pois permite determinar não só o volume ocupado pelo agregado no concreto, como também os cálculos de consumo de materiais.

Os agregados mais comuns, granito e calcário, têm massa específica compreendida entre 2,63 e 2,70 kg/dm³. A massa específica dos basaltos, em geral, se situa entre 2,60 e 3,00 kg/dm³. As areias de rio e de cava, constituídas na maioria por sílica, têm massa específica compreendida entre 2,60 e 2,64 kg/dm³.

Neste estudo experimental a massa específica do AMN é de 2,66 kg/dm³ e do AMVT de 2,54 kg/dm³, perfeitamente dentro das margens dos agregados mais comuns.



(a) Pó de pedra

(b) Vidro

Figura 4.12: Frascos de *Chapman*.

4.3.4 Massa unitária dos agregados

É definida como a relação entre a massa e o volume de sólidos, incluindo os vazios (volume ocupado pelo agregado) sob determinadas condições de compactação. A NBR MN 45:2006 define três métodos para a sua determinação. Foi utilizado o do recipiente de aço prismático (Figura 4.13).

A massa unitária é importante no caso de ser necessário transformar traços em massa para volume, e *vice-versa*, além do controle de estoque. Ela também depende muito da forma e da granulometria dos agregados. Os agregados lamelares tendem a apresentar massa unitária menores, devido a maior dificuldade de acomodação.

Neste estudo experimental a massa unitária do AMN é de 1,51 kg/dm³ e do AMVT de 1,35 kg/dm³.



(a) Pó de pedra

b) Vidro triturado

Figura 4.13: Recipientes prismáticos para pesagem do agregado.

4.3.5 Massa específica do concreto

A NBR 6120:1980 fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações e prescreve a densidade do concreto como 2500 kg/m^3 .

A massa específica encontrada no concreto utilizado para a confecção dos blocos e dos corpos de prova foi de 1750 kg/m^3 . Os concretos classificam-se em função da massa específica.

Pesados: $\gamma = 2800 \text{ a } 5000 \text{ kg/m}^3$.

Normal: $\gamma = 2000 \text{ a } 2800 \text{ kg/m}^3$.

Leves: $\gamma = 1200 \text{ a } 2000 \text{ kg/m}^3$.

4.3.6 Umidade superficial, porosidade e absorção dos agregados

A umidade do agregado é definida pela relação entre a massa de água e a massa de material seco e é expressa em porcentagem, representativa da água livre que o mesmo carrega.

Por água livre entende-se água que não faz parte da constituição do agregado e que pode ser retirada por secagem, e reposta por molhagem; pode estar contida no interior ou na superfície externa. A água contida no interior e nos poros dos agregados é denominada de água de absorção ou absorvida. A água na superfície é denominada de água de molhagem.

A porosidade, a abrasão e a umidade superficial do agregado influenciam várias propriedades do concreto, tais como, na aderência entre o agregado miúdo e a pasta de cimento, na resistência do concreto ao gelo e degelo, na sua estabilidade química, na resistência à abrasão e na massa específica aparente, e no volume de concreto para uma determinada massa de agregado.

4.3.7 Granulometria dos agregados

A NBR 7211:2009 que trata dos agregados para concreto prescreve as especificações e requisitos exigíveis para a recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento *Portland*.

ANBR NM 248:2003 refere-se aos agregados e prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.

A NBR NM 26:2009 que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinados a ensaios de laboratório.

4.3.8 Substâncias deletérias, nocivas dos agregados

São substâncias que aparecem em pequenas quantidades tanto no agregado miúdo quanto no graúdo, mas que podem afetar a trabalhabilidade, a pega, o endurecimento e as características de durabilidade do concreto.

Outra questão é que as impurezas orgânicas como materiais vegetais em decomposição, podem causar problemas de pega e endurecimento do concreto.

A NBR 7211:2009, acima mencionada trata também, da qualidade do agregado estabelecendo os limites para os teores desses materiais, a saber:

- Em agregado graúdo:
 - teor de argila 3%;
 - teor de pulverulento 1%.
- Em agregado miúdo:
 - teor de argila 3%;

- teor de pulverulento 5%.

A NBR 7214:2012 estabelece requisitos para a areia destinada à execução dos ensaios de determinação da resistência à compressão de cimento *Portland*.

Um método sensível e rápido para verificar se as impurezas contidas na areia permitem seu emprego como agregado para concreto, é o equivalente de areia. Consiste em medir a quantidade de impurezas argilosas e coloidais por meio de uma enérgica lavagem da amostra, de modo a separar, por floculação, os materiais ultrafinos.

4.3.9 Forma e textura das partículas dos agregados

Há evidências que, durante as primeiras idades, a resistência do concreto, principalmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado; uma textura mais áspera parece propiciar a formação de uma aderência física mais forte entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades mais avançadas, a aderência química é mais forte que a aderência física (METHA e MONTEIRO, 2008).

4.4 OS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora.

Os corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto utilizados foram produzidos com pó de pedra como AMN e também com AMVT. Os blocos ensaiados com AMN estão em conformidade com a NBR 6136:2014.

As principais características estudadas foram: resistência à compressão; resistência à tração por compressão diametral; resistência à flexão; módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*.

Assim como as seguintes propriedades: absorção de água por imersão; absorção de água por capilaridade; retração hidráulica e velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

Nos ensaios foram utilizados concretos nas resistências 4 MPa, 6 MPa, 8 MPa e 10 MPa e quando observadas as características à compressão e à flexo

compressão, o bloco utilizado foi o de 14 cm x 19 cm x 29 cm, com peso médio de 8,70 quilos.

Já nos ensaios de concreto à compressão, à tração, absorção de água por imersão e absorção de água por sucção capilar, foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 10 cm por 20 cm. Para o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson utilizou-se o corpo de prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm, e para a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas utilizou-se blocos de concreto 14 cm x 19 cm x 29 cm.

4.4.1 Moldagem dos corpos de prova e dos blocos

Antes da moldagem dos blocos e dos corpos de prova, o AMN e AMVT foram levados para o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora para a verificação da semelhança das granulometrias do AMN e do AMVT.

4.4.2 Dosagem do concreto dos corpos de prova e dos blocos

A granulometria fornecida pela indústria para o AMN está mostrada na Tabela 4.1 que, após o ensaio de granulometria realizado em laboratório, apresentou os percentuais demonstrados .

Tabela 4.1: Granulometria do pó de pedra (AMN) fornecida pela fábrica de blocos.

<i>Peneira</i>	<i>Percentual retido</i>	<i>Acumulado</i>
4,80 mm	2,56%	3,0%
2,40 mm	17,77%	9,0%
1,20 mm	13,55%	22,5%
0,60 mm	11,28%	51,5%
0,30 mm	15,79%	86,0%
0,15 mm	17,75%	95,0%
<i>Fundo</i>	<i>percentual retido 21,29% e acumulado 100,0%</i>	
<i>Módulo de finura: 3,40 (areia grossa)</i>		

O módulo de finura dos agregados é definido pela NBR 7211:2009 como sendo a soma das percentagens retidas e acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, divididas por 100. No caso das areias e o seu módulo de finura (MF), elas podem ser classificadas em : muito grossa, com MF acima de 3,90; grossa, com MF entre 3,90 e 3,30; média, com MF entre 3,30 e 2,40; fina, com MF abaixo de 2,40.

Os AMN e AMVT podem ser classificados de acordo com seu módulo de finura nas seguintes categorias Tabela 4.2.

Tabela 4.1: Classificação das areias em relação ao módulo de finura.

<i>Muitogrossa (pedrisco)</i>			<i>M.F.</i>	>	3,90
<i>Grossa</i>	3,90	>	<i>M.F.</i>	>	3,30
<i>Média</i>	3,30	>	<i>M.F.</i>	>	2,40
<i>Fina</i>	2,40	>	<i>M.F.</i>		

Na análise do pó de pedra, sob o ponto de vista da composição granulométrica, segundo a NBR NM 248:1997, ver anexo A, tem-se o módulo de finura 2,41 e para o vidro triturado e valor de 2,06.

Segundo a NBR 7211:2009 o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90 e para a zona utilizável inferior o módulo de finura varia de 1,55 a 2,20.

A curva de granulometria da areia natural foi utilizada para misturar o vidro triturado na mesma proporção da granulometria da areia natural, já que o vidro triturado foi entregue na granulometria das diversas peneiras em separado. Ocorreu também o uso de uma betoneira de eixo inclinado para a mistura do vidro triturado, nas diversas aberturas das peneiras da curva granulométrica da areia natural.

No Quadro 4.2 mostra-se a influência nas propriedades das argamassas em função da granulometria dos agregados.

<i>Propriedades</i>	<i>Características da Areia</i>		
	<i>Quanto menor o módulo de finura</i>	<i>Quanto mais descontínua for a granulometria</i>	<i>Quanto maior o teor de grãos angulosos</i>
<i>Trabalhabilidade</i>	<i>Melhor</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>
<i>Retenção de água</i>	<i>Melhor</i>	<i>Variável</i>	<i>Melhor</i>
<i>Elasticidade</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>
<i>Retração na secagem</i>	<i>Aumenta</i>	<i>Aumenta</i>	<i>Variável</i>
<i>Porosidade</i>	<i>Variável</i>	<i>Aumenta</i>	<i>Variável</i>
<i>Aderência</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>	<i>Melhor</i>
<i>Resist. mecânicas</i>	<i>Variável</i>	<i>Pior</i>	<i>Variável</i>
<i>Impermeabilidade</i>	<i>Pior</i>	<i>Pior</i>	<i>Varável</i>

Quadro 4.2: Influência nas propriedades das argamassas em função da granulometria dos agregados.

O traço empregado na fábrica de blocos constituiu-se de: cimento; areia artificial, pó de pedra (AMN) ou vidro triturado (AMVT), areia grossa – brita 00 (pedrisco), brita 0 em quilos e um litro do aditivo Rheomix 610 da Basf (Anexo D).

Para 4 MPa – 74:458:140:105

Para 6 MPa – 101:447:136:102

Para 8 MPa – 123:435:133:100

Para 10 MPa – 158:419:128:96

Utilizando a seguinte quantidade de água e fator água cimento.

Para 4 MPa – 74 kg de cimento e 63,83 litros de água – $a/c = 0,86$.

Para 6 MPa – 101 kg de cimento e 63,83 litros de água – $a/c = 0,63$.

Para 8 MPa – 123 kg de cimento e 63,83 litros de água – $a/c = 0,51$.

Para 10 MPa – 158 kg de cimento e 63,83 litros de água – $a/c = 0,40$.

ALVES (1993) relata que o consumo de cimento aumenta quando se desejam blocos mais resistentes e sem revestimentos, embora não se deva aumentar muito o consumo de cimento que acarretará trincas e dificuldades no controle de cura das peças. A dosagem bem estudada atenderá às características exigíveis para o produto e terá consumo de cimento adequado.

Para a confecção dos corpos de prova e dos blocos, foi utilizada a Pedreira São Sebastião, localizada na Rodovia BR 140, Km 14, Três Rios, Rio de Janeiro, RJ que é reconhecida no mercado e possui equipamentos, tecnologia e experiência comprovada na confecção de blocos de concreto.

Essa empresa explora também, uma pedreira, gerando o pó de pedra, a brita 0 e a brita 00, utilizadas na fase da produção dos corpos de prova e dos blocos. A etapa seguinte foi a confecção dos corpos de prova cilíndricos e os blocos de concreto com o traço utilizado normalmente, tendo como agregado miúdo o pó de pedra. Posteriormente foi repetida a moldagem de corpos de prova cilíndricos e dos blocos de concreto, com o uso de AMVT em substituição ao AMN (pó de pedra).

A dosagem utilizada foi a volumétrica, onde a máquina comandada por computação utilizou os dados padrões para a fabricação dos blocos com AMN e

quando da substituição do AMN por AMVT, o pó de pedra foi substituído por vidro triturado. Então, a dosagem foi realizada em padiola e depois transferida para o

4.4.3 Parâmetros de identificação dos corpos de prova e blocos

Para a identificação dos corpos de prova e blocos adotamos a seguinte marcação com tinta: em verde, são os executados com agregados com AMN; em azul, são os executados com AMVT; com relação às resistências, os brancos são os de 4 MPa; em amarelo, os de 6 MPa; em vermelho, os de 8 MPa; em preto, os de 10 MPa.

4.4.4 Resumo dos ensaios

Os ensaios executados, assim como a nomenclatura dos corpos de prova e dos blocos estão representados nas seguintes tabelas:

Ensaio executado em corpos de prova com AMN (Tabela 4.3) e com AMVT (Tabela 4.4), em blocos com AMN (Tabela 4.5) e em prismas com AMN (Tabela 4.6) em blocos com AMVT (Tabela 4.7) em prismas com AMVT (Tabela 4.8). Nomenclatura dos corpos de prova com AMN. (Quadro 4.3) e com AMVT (Quadro 4.4). Nomenclatura dos blocos de concreto, e prismas com AMN (Quadro 4.5) e com AMVT (Quadro 4.6).

Tabela 4.3: Ensaios com corpos de prova com AMN.

<i>Ensaios</i>	<i>Idade Ensaio dias</i>	<i>Dimensões emcm</i>	<i>f_c 4MPa</i>	<i>f_c 6MPa</i>	<i>f_c 8MPa</i>	<i>f_c 10MPa</i>	<i>Total</i>
<i>Resistência à compressão axial f_c</i>	7	10 x 20	3	3	3	3	12
	14	10 x 20	3	3	3	3	12
	21	10 x 20	3	3	3	3	12
	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Resistência à tração por compressão diametral f_{ct,sp}</i>	7	10 x 20	3	3	3	3	12
	14	10 x 20	3	3	3	3	12
	21	10 x 20	3	3	3	3	12
	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Retração hidráulica ΔL</i>	1	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	7	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	14	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	21	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	28	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
<i>Resistência à tração na flexão f_{ct,f}</i>	28	15 x 15 x 60	3	3	3	3	12
<i>Módulo de elasticidade E_c</i>	28	15 x 30	3	3	3	3	12
<i>Coefficiente de Poisson ν</i>	28	15 x 30	3	3	3	3	12
<i>Absorção por imersão A_i</i>	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Absorção por sucção capilar A_{sc}</i>	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Velocidade de ondas ultrassônicas V_{us}</i>	64	14 x 19 x 29	3	3	3	3	12
		10 x 20	30	30	30	30	120
		15 x 30	6	6	6	6	24
		10 x 10 x 30	15	15	15	15	60
		15 x 15 x 60	3	3	3	3	12
		14 x 19 x 29	3	3	3	3	12
		<i>Total</i>	57	57	57	57	228

Tabela 4.4: Ensaios com corpos de prova com AMVT.

<i>Ensaios</i>	<i>Idade Ensaio dias</i>	<i>Dimensão emcm</i>	<i>f_c 4MPa</i>	<i>f_c 6MPa</i>	<i>f_c 8MPa</i>	<i>f_c 10MPa</i>	<i>Total</i>
<i>Resistência à compressão axial f_c</i>	7	10 x 20	3	3	3	3	12
	14	10 x 20	3	3	3	3	12
	21	10 x 20	3	3	3	3	12
	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Resistência à tração por compressão diametral f_{ct,sp}</i>	7	10 x 20	3	3	3	3	12
	14	10 x 20	3	3	3	3	12
	21	10 x 20	3	3	3	3	12
	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Retração hidráulica ΔL</i>	1	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	7	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	14	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	21	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
	28	10 x 10 x 30	3	3	3	3	12
<i>Resistência à tração na flexão f_{ct,f}</i>	28	15 x 15 x 60	3	3	3	3	12
<i>Módulo de elasticidade E_c</i>	28	15 x 30	3	3	3	3	12
<i>Coefficiente de Poisson ν</i>	28	15 x 30	3	3	3	3	12
<i>Absorção por imersão A_i</i>	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Absorção por sucção capilar A_{sc}</i>	28	10 x 20	3	3	3	3	12
<i>Velocidade de ondas ultrassônicas V_{us}</i>	64	14 x 19 x 29	3	3	3	3	12
		10 x 20	30	30	30	30	120
		15 x 30	6	6	6	6	24
		10 x 10 x 30	15	15	15	15	60
		15 x 15 x 60	3	3	3	3	12
		14 x 19 x 29	3	3	3	3	12
		<i>Total</i>	57	57	57	57	228

Tabela 4.5: Ensaios em blocos de concreto com AMN.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade dias</i>	<i>Dimensões do bloco em cm</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa	<i>Total</i>
Resistência à compressão axial f_{cb}	28	<i>Nº de Blocos</i> <i>14 x 19 x 29</i>	1	1	1	1	4
		<i>Nº de Ensaios</i>	3	3	3	3	12
		<i>Total de blocos</i>	3	3	3	3	12

Tabela 4.6: Ensaios em prismas com três blocos com AMN.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade dias</i>	<i>Dimensões do bloco em cm</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa	<i>Total</i>
Resistência à compressão axial f_{p3b}	28	<i>Nº de Prismas</i>	3	3	3	3	12
		<i>Nº blocos por prisma</i>	3	3	3	3	12
		<i>Total de blocos</i>	9	9	9	9	36

Tabela 4.7: Ensaios em blocos de concreto com AMVT.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade dias</i>	<i>Dimensões do bloco em cm</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa	<i>Total</i>
Resistência à compressão axial f_{cb}	28	<i>Nº de Blocos</i> <i>14 x 19 x 29</i>	1	1	1	1	4
		<i>Nº de Ensaios</i>	3	3	3	3	12
		<i>Total de blocos</i>	3	3	3	3	12

Tabela 4.8: Ensaios em prismas com três blocos com AMVT.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade dias</i>	<i>Dimensões do bloco em cm</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa	<i>Total</i>
Resistência à compressão axial f_{p3b}	28	<i>Nº de Prismas</i>	3	3	3	3	12
		<i>Nº blocos por prisma</i>	3	3	3	3	12
		<i>Total de blocos</i>	9	9	9	9	36

<i>Ensaio</i>	<i>idade dias</i>	<i>f_c 4 MPa</i>	<i>f_c 6 MPa</i>	<i>f_c 8 MPa</i>	<i>f_c 10 MPa</i>
Resistência à compressão axial	7	CN01; CN02; CN03	CN04; CN05; CN06	CN07; CN08; CN09	CN10; CN11; CN12
	14	CN25; CN26; CN27	CN28; CN29; CN30	CN31; CN32; CN33	CN34; CN35; CN36
	21	CN49; CN50; CN51	CN52; CN53; CN54	CN55; CN56; CN57	CN58; CN59; CN60
	28	CN73; CN74; CN75	CN76; CN77; CN78	CN79; CN80; CN81	CN82; CN83; CN84
Resistência à tração por compressão diametral	7	CN13; CN14; CN15	CN16; CN17; CN18	CN19; CN20; CN21	CN22; CN23; CN24
	14	CN37; CN38; CN39	CN40; CN41; CN42	CN43; CN44; CN45	CN46; CN47; CN48
	21	CN61; CN62; CN63	CN64; CN65; CN66	CN67; CN68; CN69	CN70; CN71; CN72
	28	CN85; CN86; CN87	CN88; CN89; CN90	CN91; CN92; CN93	CN94; CN95; CN96
Retração hidráulica	1	RN13 ₁ ; RN14 ₁ ; RN15 ₁	RN16 ₁ ; RN17 ₁ ; RN18 ₁	RN19 ₁ ; RN20 ₁ ; RN21 ₁	RN22 ₁ ; RN23 ₁ ; RN24 ₁
	7	RN13 ₇ ; RN14 ₇ ; RN15 ₇	RN16 ₇ ; RN17 ₇ ; RN18 ₇	RN19 ₇ ; RN20 ₇ ; RN21 ₇	RN22 ₇ ; RN23 ₇ ; RN24 ₇
	14	RN13 ₁₄ ; RN14 ₁₄ ; RN15 ₁₄	RN16 ₁₄ ; RN17 ₁₄ ; RN18 ₁₄	RN19 ₁₄ ; RN20 ₁₄ ; RN21 ₁₄	RN22 ₁₄ ; RN23 ₁₄ ; RN24 ₁₄
	21	RN13 ₂₁ ; RN14 ₂₁ ; RN15 ₂₁	RN16 ₂₁ ; RN17 ₂₁ ; RN18 ₂₁	RN19 ₂₁ ; RN20 ₂₁ ; RN21 ₂₁	RN22 ₂₁ ; RN23 ₂₁ ; RN24 ₂₁
	28	RN13 ₂₈ ; RN14 ₂₈ ; RN15 ₂₈	RN16 ₂₈ ; RN17 ₂₈ ; RN18 ₂₈	RN19 ₂₈ ; RN20 ₂₈ ; RN21 ₂₈	RN22 ₂₈ ; RN23 ₂₈ ; RN24 ₂₈
Resistência na tração a flexão	28	RN01; RN02; RN03	RN04; RN05; RN06	RN07; RN08; RN09	RN10; RN11; RN12
Módulo de deformação	28	CN97; CN98; CN99	CN100; CN101; CN102	CN103; CN104; CN105	CN106; CN107; CN108
Coefficiente de Poisson	28	CN109; CN110; CN111	CN112; CN113; CN114	CN115; CN116; CN117	CN118; CN119; CN120
Absorção primária	28	CN121; CN122; CN123	CN124; CN125; CN126	CN127; CN128; CN129	CN130; CN131; CN132
Absorção secundária	28	CN133; CN134; CN135	CN136; CN137; CN138	CN139; CN140; CN141	CN142; CN143; CN144
Velocidade de ondas ultrassônicas	28	CN145; CN146; CN147	CN148; CN149; CN150	CN151; CN152; CN153	CN154; CN155; CN156

Quadro 4.3: Nomenclatura dos corpos de prova de AMN.

<i>Ensaio</i>	<i>idade dias</i>	<i>f_c 4 MPa</i>	<i>f_c 6 MPa</i>	<i>f_c 8 MPa</i>	<i>f_c 10 MPa</i>
Resistência à compressão axial	7	CV01;CV02;CV03	CV04; CV05; CV06	CV07; CV08; CV09	CV10; CV11; CV12
	14	CV25; CV26; CV27	CV28; CV29; CV30	CV31; CV32; CV33	CV34; CV35; CV36
	21	CV49; CV50; CV51	CV52; CV53; CV54	CV55; CV56; CV57	CV58; CV59; CV60
	28	CV73; CV74; CV75	CV76; CV77; CV78	CV79; CV80; CV81	CV82; CV83; CV84
Resistência à tração por compressão diametral	7	CV13; CV14; CV15	CV16; CV17; CV18	CV19; CV20; CV21	CV22; CV23; CV24
	14	CV37; CV38; CV39	CV40; CV41; CV42	CV43; CV44; CV45	CV46; CV47; CV48
	21	CV61; CV62; CV63	CV64; CV65; CV66	CV67; CV68; CV69	CV70; CV71; CV72
	28	CV85; CV86; CV87	CV88; CV89; CV90	CV91; CV92; CV93	CV94; CV95; CV96
Retração hidráulica	1	RV13 ₁ ; RV14 ₁ ; RV15 ₁	RV16 ₁ ; RV17 ₁ ; RV18 ₁	RV19 ₁ ; RV20 ₁ ; RV21 ₁	RV22 ₁ ; RV23 ₁ ; RV24 ₁
	7	RV13 ₇ ; RV14 ₇ ; RV15 ₇	RV16 ₇ ; RV17 ₇ ; RV18 ₇	RV19 ₇ ; RV20 ₇ ; RV21 ₇	RV22 ₇ ; RV23 ₇ ; RV24 ₇
	14	RV13 ₁₄ ; RV14 ₁₄ ; RV15 ₁₄	RV16 ₁₄ ; RV17 ₁₄ ; RV18 ₁₄	RV19 ₁₄ ; RV20 ₁₄ ; RV21 ₁₄	RV22 ₁₄ ; RV23 ₁₄ ; RV24 ₁₄
	21	RV13 ₂₁ ; RV14 ₂₁ ; RV15 ₂₁	RV16 ₂₁ ; RV17 ₂₁ ; RV18 ₂₁	RV19 ₂₁ ; RV20 ₂₁ ; RV21 ₂₁	RV22 ₂₁ ; RV23 ₂₁ ; RV24 ₂₁
	28	RV13 ₂₈ ; RV14 ₂₈ ; RV15 ₂₈	RV16 ₂₈ ; RV17 ₂₈ ; RV18 ₂₈	RV19 ₂₈ ; RV20 ₂₈ ; RV21 ₂₈	RV22 ₂₈ ; RV23 ₂₈ ; RV24 ₂₈
Resistência na tração à flexão	28	RV01; RV02; RV03	RV04; RV05; RV06	RV07; RV08; RV09	RV10; RV11; RV12
Módulo de deformação	28	CV97; CV98; CV99	CV100; CV101; CV102	CV103; CV104; CV105	CV106; CV107; CV108
Coefficiente de Poisson	28	CV109; CV110; CV111	CV112; CV113; CV114	CV115; CV116; CV117	CV118; CV119; CV120
Absorção por imersão	28	CV121; CV122; CV123	CV124; CV125; CV126	CV127; CV128; CV129	CV130; CV131; CV132
Absorção por sucção apilar	28	CV133; CV134; CV135	CV136; CV137; CV138	CV139; CV140; CV141	CV142; CV143; CV144
Velocidade de ondas ultrasônicas	28	CV145; CV146; CV147	CV148; CV149; CV150	CV151; CV152; CV153	CV154; CV155; CV156

Quadro 4.4: Nomenclatura dos corpos de prova de AMVT.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade Dias</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa
Resistência à compressão axial	28	1 Bloco BN01; BN02; BN03	1 Bloco BN04; BN05; BN06	1 Bloco BN07; BN08; BN09	1 Bloco BN10; BN11; BN12
<i>Ensaio</i>	<i>Idade Dias</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa
Resistência à compressão axial	28	3 Prismas com 3 Blocos PN1 = BN13; BN14; BN15 PN2 = BN16; BN17; BN18 PN3 = BN19; BN20; BN21	3 PrismaS com 3 Blocos PN4 = BN22; BN23; BN24 PN5 = BN25; BN26; BN27 PN6 = BN28; BN29; BN30	3 Prismas com 3 Blocos PN7 = BN31; BN32; BN33 PN8 = BN34; BN35; BN36 PN9 = BN37; BN38; BN39	3 Prismas com 3 Blocos PN10 = BN40; BN41; BN42 PN11 = BN43; BN43; BN45 PN12 = BN46; BN47; BN48

Quadro 4.5: Nomenclatura dos blocos de concreto e prismas com AMN.

<i>Ensaio</i>	<i>Idade Dias</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa
Resistência à compressão axial	28	1 Bloco BV01; BV02; BV03	1 Bloco BV04; BV05; BV06	1 Bloco BV07; BV08; BV09	1 Bloco BV10; BV11; BV12
<i>Ensaio</i>	<i>Idade Dias</i>	f_c 4 MPa	f_c 6 MPa	f_c 8 MPa	f_c 10 MPa
Resistência à compressão axial	28	3 Prismas com 3 Blocos PV1 = BV13; BV14; BV15 PV2 = BV16; BV17; BV18 PV3 = BV19; BV20; BV21	3 PrismaS com 3 Blocos PV4 = BV22; BV23; BV24 PV5 = BV25; BV26; BV27 PV6 = BV28; BV29; BV30	3 Prismas com 3 Blocos PV7 = BV31; BV32; BV33 PV8 = BV34; BV35; BV36 PV9 = BV37; BV38; BV39	3 Prismas com 3 Blocos PV10 = BV40; BV41; BV42 PV11 = BV43; BV44; BV45 PV12 = BV46; BV47; BV48

Quadro 4.6: Nomenclatura dos blocos de concreto e prismas com AMVT.

4.4.5 Corpos de prova de concreto

Os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram moldados em conformidade com a NBR 5738:2004 e a emenda NBR 5738:2008, que prescrevem os procedimentos para a moldagem e a cura de corpos de prova.

Os corpos de prova foram todos concretados no mesmo dia e após decorrido os tempos de cura ensaiados nas idades de 7,14, 21 e 28 dias.

A Figura 4.14 mostra os moldes antes de sua utilização.



Figura 4.14: Formas para moldagem.

A Figura 4.15 mostra a moldagem de corpos de prova cilíndricos, enquanto a Figura 4.16 apresenta os moldes preenchidos com AMN, e na Figura 4.24c tem-se os moldes com AMVT.



(a) Formas com AMN (b) Formas com AMVT

Figura 4.15: Corpos de prova preenchidos.

Para os ensaios de compressão axial, tração por compressão, módulo de deformação, coeficiente de *Poisson*, absorção por imersão, absorção por sucção capilar foi utilizado o corpo de prova cilíndrico de 10 cm x 20 cm.

Nos ensaios do módulo de deformação e coeficiente de *Poisson* foi empregado o corpo de prova cilíndrico de 15 cm x 30 cm; nos ensaios de velocidade ultrassônica, compressão de bloco e prisma foi aplicado como corpo de prova, o bloco de concreto de 14 cm x 19 cm x 29 cm.

A cura dos corpos de prova cilíndricos foi executada de acordo com a norma NBR 5738:2004, por submersão em tanque e em câmara úmida, quando já capeados e aguardando o ensaio.

A cura dos blocos ocorreu em câmara úmida a vapor, com entrada pela frente e saída pelos fundos (Figura 4.16). Após a entrada dos blocos na câmara foi iniciada a vaporização, momento em que o cimento já estava sendo hidratado, onde ficou até a câmara atingir a temperatura de 60°C, quando os blocos não mais absorviam água (Figura 4.17).



(a) Câmara de cura (b) Palet com blocos

Figura 4.16: Câmara de cura dos blocos.



Figura 4.17: Câmara úmida a vapor.

Nas faces superiores dos corpos de prova cilíndricos a planicidade exigida para os ensaios foi obtida rematando com enxofre (Figura 4.18).



(a) Preparação do enxofre (b) Guia de perpendicularidade (c) CP capeados

Figura 4.18: Capeamento dos corpos de prova.

Nas faces superiores dos blocos e prismas a planicidade exigida para os ensaios foi obtida rematando com pasta de cimento (Figura 4.19).



Figura 4.19: Capeamento dos blocos de concreto.

Maria Teresa G. B. *in* SÁNCHEZ (2013) relata os métodos de avaliação das propriedades citadas nos itens 4.4.5.1 a 4.4.5.12.

4.4.5.1 Resistência à compressão

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 5739:2007 que prescreve o método de ensaio para determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico. Utilizou-se corpos de prova de 10 cm x 20 cm.

Após o tempo de cura, os corpos de prova foram rematados com enxofre perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova cilíndrico. Além disso os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. A força de ensaio foi aplicada continuamente e sem choque, com velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, sendo a força de ruptura lida em kgf e transformada em MPa (Figura 4.20).



Figura 4.20: Ensaio de resistência à compressão axial do corpo de prova cilíndrico.

A resistência à compressão é dada por:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

onde

f_c – resistência à compressão axial (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

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

4.4.5.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 7222:2011, que prescreve o método de ensaio para a determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Foram utilizados os corpos de prova 10 cm x 20 cm.

Os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. A força de ensaio foi aplicada continuamente e sem choque, com velocidade de carregamento de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo de prova, sendo a força de ruptura lida em kgf e transformada em KN.

O resultado das resistências à tração por compressão diametral é a média dos resultados obtidos com três corpos de prova ensaiados na mesma idade. Os resultados individuais, médias e coeficientes de variação estão no Apêndice A.

A aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, gera, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro. Esse ensaio é adotado pela ASTM C 496, BS 1881-117 e ISO 4108 (Figura 4.21).



(a) Ensaio

(b) Ensaio

(c) Após o ensaio

Figura 4.21: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral do corpo de prova cilíndrico.

A resistência à tração por compressão diametral é dada por:

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi d L} \quad (4.2)$$

onde

$f_{ct,sp}$ – resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

d – diâmetro do corpo de prova (mm);

L – altura do corpo de prova (mm).

4.4.5.3 Retração hidráulica

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NM 131:97 que prescreve o método de ensaio para determinação da retração hidráulica do concreto (Figura 4.22). Foi utilizado um relógio comparador da marca Mitutoyo com precisão de 0,001 mm.

Em cada corpo de prova de 10 cm x 10 cm x 30 cm foram fixadas três hastes de ferro criando assim dois intervalos para as respectivas medições. Dessa forma, cada corpo de prova gerou duas medidas. Para cada resistência em concreto com AMN e AMVT foram ensaiados três corpos de prova, o que resultou em seis medições para cada situação mencionada.

A determinação da redução volumétrica ocorrida no concreto foi realizada em corpos de prova prismáticos com dimensões 10 cm x 10 cm x 30 cm, utilizando-se o comparador digital com aproximação de 0,001%.

Imediatamente após a moldagem, momento também em que foram posicionados os limitadores para as leituras, os corpos de prova foram estocados em câmara úmida, tomando-se o cuidado de proteger a superfície exposta até que o concreto tivesse endurecido. Após 24 horas da adição da água de amassamento, procedeu-se a leitura indicada no comparador. A frequência de medidas obedeceu ao seguinte critério: leituras a 1, 7, 14, 21 e 28 dias.

A retração do concreto se deve à pasta de cimento, então, quanto maior o consumo de agregado, menor será a retração e menor a probabilidade de fissuração com o aumento da vida útil da estrutura.



Figura 4.22: Ensaio de retração hidráulica do concreto.

A retração hidráulica foi expressa em porcentagem, sendo obtida pela expressão:

$$\Delta L = \frac{\Delta L_x - \Delta L_i}{L_g} \times 100 \quad (4.3)$$

onde

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

4.4.5.4 Resistência à tração na flexão

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 12142:2010 que prescreve o método de ensaio para a determinação da resistência à tração de corpos de prova prismáticos. Os corpos de prova utilizados foram de 15 cm x 15 cm x 50 cm (Figura 4.23) a e carregados continuamente, e sem choques, com crescimento constante a uma velocidade de 0,9 a 1,2MPa/minuto até a ruptura (Figura 4.24).



(a) Prismas

(b) Antes do ensaio

(c) Depois do ensaio

Figura 4.23: Ensaio de tração na flexão do concreto.

$$f_{ct,f} = \frac{F L}{b d^2} (4.4)$$

onde

$f_{ct,f}$ – resistência à tração na flexão (MPa);

F – força aplicada (N);

L – distancia entre cutelos de suporte (mm);

b – largura média de corpo de prova na seção de ruptura (mm);

d – altura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm).

A distância entre cutelos de suporte foi de 150 mm.

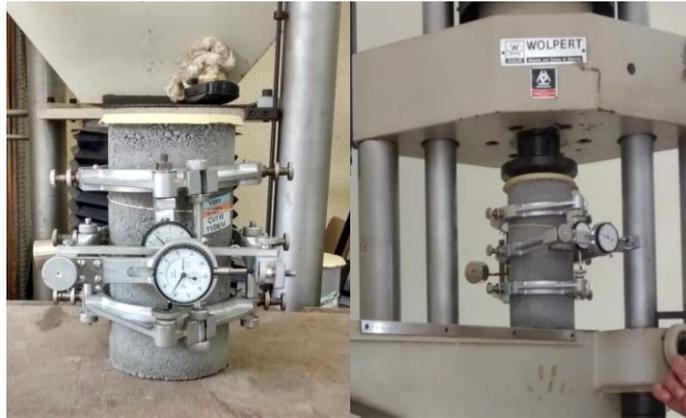
4.4.5.5 Módulo de elasticidade

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 8522:2008 que prescreve o método de ensaio para determinação do módulo estático de elasticidade à compressão de corpos de prova cilíndricos. Os corpos de prova empregados foram de 15 cm por 30 cm.

Antes da realização do ensaio de três corpos de prova para a determinação do módulo de elasticidade, dois corpos de prova do mesmo concreto foram ensaiados para obter a resistência à compressão.

O módulo de elasticidade foi determinado sob carregamento estático à compressão axial simples, aplicando-se um carregamento crescente à velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, até que fosse alcançada uma tensão σ_b de aproximadamente 30% da resistência à compressão do concreto f_c .

Esse nível de tensão foi mantido por sessenta segundos. Em seguida, reduziu-se a carga à mesma velocidade do processo de carregamento até o nível de tensão básica σ_a , que corresponde a 0,5 MPa. Foram realizadas mais dois ciclos de carga e descarga, alternadamente, durante períodos de 60 s cada. Depois do último ciclo de pré-carga, e após 60 s sob tensão σ_a , registrou-se a deformação específica ε_a . Carregou-se novamente o corpo de prova com tensão σ_b , e após uma espera de 60 s, foi registrada a deformação específica ε_b (Figura 4.24).



Figuras 4.24: Ensaio do módulo de elasticidade do concreto na idade de 28 dias.

O módulo de elasticidade é obtido por:

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^{-3} \quad (4.5)$$

onde

E_{ci} – módulo de elasticidade (GPa);

σ_b – tensão maior, $0,3 f_c$ (MPa);

σ_a – tensão básica, 0,5 MPa (MPa);

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

ε_a – deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob tensão básica.

Na parte inicial do diagrama a tensão σ é diretamente proporcional à deformação específica.

4.4.5.6 Coeficiente de *Poisson*

Os corpos de prova cilíndricos foram de 15 cm x 30 cm, e o coeficiente de Poisson foi calculado pela seguinte expressão:

$$\nu = \frac{(\varepsilon_{tf} - \varepsilon_{ti})}{(\varepsilon_{lf} - \varepsilon_{li})} \quad (4.6)$$

onde

ν – coeficiente de Poisson;

ε_{tf} – deformação específica transversal final, para 30% da tensão de ruptura;

ε_{ti} – deformação específica transversal inicial, com a tensão a 0,5 MPa;

ε_{lf} – deformação específica longitudinal final, para 30% da tensão de ruptura;

ε_{li} – deformação específica longitudinal inicial, com a tensão a 0,5 MPa.

A Figura 4.25 mostra o conjunto de equipamentos utilizados para a obtenção do Coeficiente de *Poisson*, usando-se o extensômetro mecânico.



Figuras 4.25: Ensaio do Coeficiente de *Poisson* do concreto.

4.4.5.7 Absorção de água por imersão

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 9778:2009 que prescreve o método de ensaio para a determinação da absorção de água por imersão. Os corpos de prova utilizados foram de 10 cm x 20 cm, que atendem a quantidade mínima de material a ser ensaiada (Figura 4.26).



Figura 4.26: Ensaio de absorção por imersão do concreto.

A absorção é dada pela expressão:

$$A_i = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4.7)$$

onde

A_i – absorção de água por imersão (%);

m_s – massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_{sat} – massa do corpo de prova saturado em água após imerso em água por 72 horas (g).

4.4.5.8 Absorção de água por sucção capilar

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 9779:2012, que prescreve o método de ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade. Foram utilizados corpos de prova de 10 cm x 20 cm que atendem a quantidade mínima de material a ser ensaiada (Figura 4.27) e (Figura 4.28).



(a) Estufa

(b) Pesagem

Figura 4.27: Ensaio de absorção por sucção capilar do concreto.



(a)Corpo de prova imerso(b) Pesagem
 Figura 4.28: Ensaio de absorção por sucção capilar do concreto.

A absorção é dada pela expressão:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (4.8)$$

onde

C – absorção de água por capilaridade (g/cm²);

m_{sat} – massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água,durante um período de tempo especificado, expresso em gramas (g);

m_s – massa do corpo de prova seco, assim que atingir a temperatura de (23 ±2)°C, expressa em gramas (g);

S – área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm²).

4.4.5.9 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 8802:2013,que prescreve o método de ensaio de determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.

Como corpos de prova foram empregados os blocos de concreto de14 cm x 19 cm x 29 cm na idade de 64 dias.

Para avaliar a homogeneidade do concreto e detectar eventuais falhas internas de concretagem, bem como a profundidade de fissuras, dentre outras imperfeições, é frequentemente empregado o método de ensaio não destrutivo da

velocidade de propagação de ondas ultrassônicas; representa a busca da distância percorrida por uma vibração ou distúrbio durante um intervalo de tempo.

Foram utilizados como corpos de prova blocos de concreto com as dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm, na idade de 64 dias; esses ensaios foram executados no Laboratório de Ensaios Físicos do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro (IPRJ – UERJ) em Nova Friburgo.



Figura 4.29: Aparelho de medição de velocidade de propagação ultrassônica. *Puditlab da Proceq.*

No ensaio o equipamento empregado foi o PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Test*) mostrado na Figura 4.30, com transdutores na frequência de 54 kHz de ondas compressão, diâmetro de 50 mm (Figura 4.31). O procedimento adotado está prescrito na NBR8808:2013, sendo empregada o tipo de transmissão denominada direta, a saber: a posição dos transdutores no corpo de prova nas faces opostas, ao longo da altura dos blocos, na região da mísula.

Imediatamente após a moldagem os corpos de prova foram estocados em câmara úmida, tomando-se o cuidado de proteger a superfície exposta até a idade do ensaio, ou seja, 64 dias de idade.



Figura 4.30: Ensaio de velocidade de propagação ultrassônica em blocos de concreto com AMN e AMVT.

A velocidade de propagação de ondas (Figura) é determinada em km/s, sendo obtida por:

$$V = \frac{L}{t}(4.9)$$

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).

4.4.5.10 Corpos de prova com blocos de concreto

Os critérios que serviram de parâmetros para a seleção dos blocos foram cinco, a saber, aqueles que: tivessem sido aprovados em conformidade com as normas técnicas; possuíssem acompanhamentos de um laboratório; tivessem controle de qualidade; demonstrassem homogeneidade; fossem compactos; apresentassem cantos vivos; não estivessem com trincas e imperfeições que prejudicassem o assentamento ou afetassem a resistência e a durabilidade da construção.

Os blocos foram produzidos em conformidade com a NBR 6136:2014. Os ensaios a compressão simples contemplaram um só bloco e prisma com três blocos além de seguirem as recomendações NBR 15961-2:2011e da NBR 12118:2013, para a análise dimensional do bloco e determinação da resistência à compressão dos prismas respectivamente.

A determinação das propriedades geométricas (dimensionais) foi realizada com dois paquímetros com resolução de 0,01 mm, em conformidade com a NBR 6136:2014 (Figura 4.31 e Figura 4.32).



Figura 4.31: Determinação das dimensões efetivas.

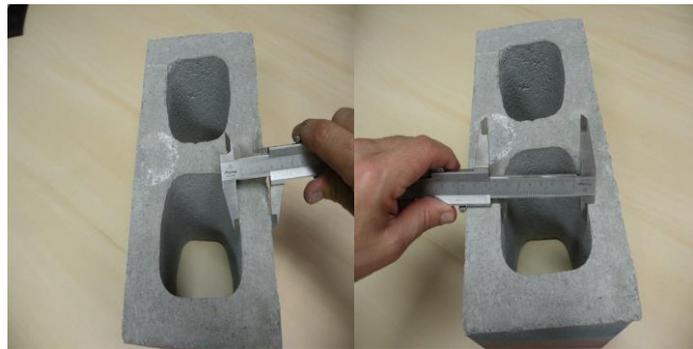


Figura 4.32: Determinação das dimensões paredes e furos.

4.4.5.11 Resistência à compressão do bloco de concreto

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma NBR 12118:2013, que prescreve o método de ensaio da resistência à compressão de blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Como corpos de prova blocos de concreto foram utilizadas as medidas de 14 cm x 19 cm x 29 cm na idade de 28 dias (Figura 4.33).



(a) Prensa Cotenco (b) Início do ensaio de 0 a 120 tf

(c) rompimento por fendilhamento

Figura 4.33: Ensaio de compressão do bloco.

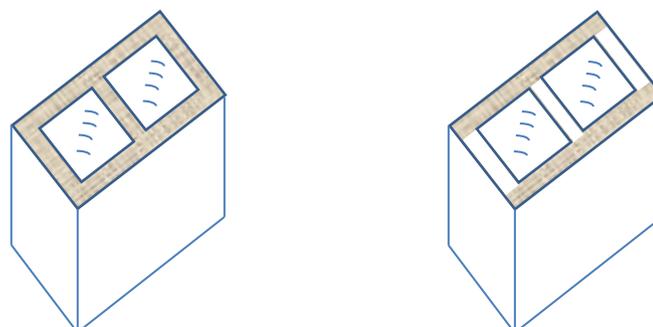
Para os blocos de 4 MPa e 6 MPa no carregamento dos corpos de prova os dispositivos de comando da prensa foram controlados de forma que a tensão aplicada, e calculada em relação à área bruta, aumentasse progressivamente e sem choques à razão de $0,15 \pm 0,03$ MPa/s o que corresponde a $1,5 \pm 0,3$ kgf/cm².s.

Para os blocos de 8 MPa e 10 MPa no carregamento dos corpos de prova os dispositivos de comando da prensa foram controlados de forma que a tensão aplicada, e calculada em relação à área bruta aumentasse progressivamente e sem choques à razão de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s o que corresponde a $0,5 \pm 0,1$ kgf/cm².s.

4.4.5.12 Resistência à compressão do prisma com três blocos

A opção por prismas de três blocos ocorreu pelo fato de eles reduzirem os efeitos gerados pelo confinamento dos pratos da máquina de ensaio nos blocos das extremidades. Não obstante, os prismas de três blocos serem os mais representativos do modo de ruptura da alvenaria, sendo o bloco central geralmente livre dos efeitos de confinamento. O tipo de argamassamento também pode alterar a resistência da alvenaria, a distribuição de tensões, a fissuração e a ruptura das paredes estruturais. É preciso considerar também que a ausência de argamassa nos septos dos blocos provoca concentração de tensões, reduzindo a resistência da alvenaria.

O capeamento dos blocos foi realizado com cimento e enxofre, e o tipo de assentamento adotado foi o argamassamento total, onde a argamassa é colocada em todas as faces das paredes dos blocos, incluindo os septos transversais (Figura 4.34).



(a) Argamassa total (b) Argamassa parcial
Figura 4.34: Tipos de assentamentos.

Em obediência à NBR 7175:2003 a adição de cal hidratada às argamassas mistas (cimento portland, cal hidratada e o agregado – areia) e água gera uma série de consequências favoráveis ao seu uso como material de construção. Por isso não é lógico e nem técnico, analisar o comportamento das argamassas sob o enfoque de uma única propriedade, como a plasticidade ou a resistência à compressão. A argamassa apresenta muitos predicados, não só um ou dois.

Nesta pesquisa para a confecção da argamassa de assentamento foi utilizada a tabela C 270 da ASTM (Tabela 4.9). Esta tabela classifica as dosagens em tipos M, S, N e O, sendo aqui selecionado o tipo N.

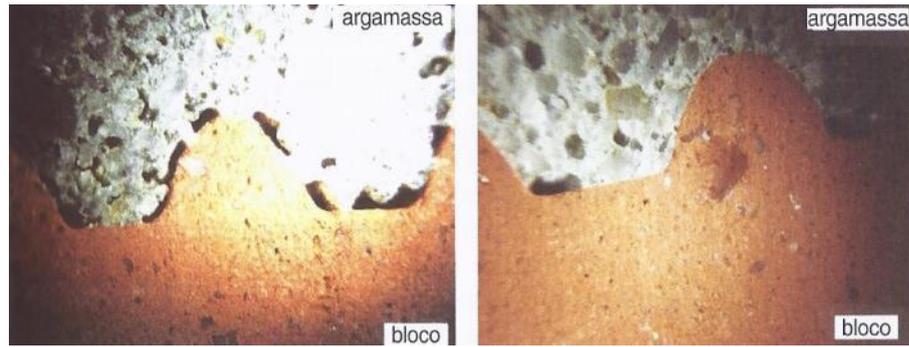
O “Tipo N” é usual para as estruturas acima do nível do solo e recomendado para paredes externas e internas. Além disso, a sua trabalhabilidade, resistência à compressão, a flexão e custo são parâmetros que a recomendam para as aplicações usuais.

Tabela 4.9: Dosagem de argamassa de assentamento de blocos.

TIPO	Fa ₂₈ (Mpa)	CIMENTO PORTLAND	CAL HIDRATADA		AREIA	
			MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
M	17,50	1,00	–	0,25	2,81	3,75
S	12,00	1,00	0,25	–	2,81	3,75
			–	0,50	3,37	4,50
N	5,30	1,00	0,50	–	3,37	4,50
			–	1,25	5,06	6,75
O	2,50	1,00	1,25	–	5,06	6,75
			–	2,50	7,87	10,50

Fonte: ASTM C 270:2008 (partes em volume).

As Figuras 4.35 a, b foram obtidas na lupa estereoscópica com ampliação de vinte vezes. São elas: (a) argamassa 1:3 (cimento e areia, em volume) aplicada sobre bloco cerâmico; (b) argamassa 1:1/4:3 (cimento, cal e areia, em volume) aplicada sobre o mesmo tipo de bloco cerâmico empregado em (a) (CARASEK, 1996).



(a) Argamassa com areia

(b) Argamassa com areia e cal

Figura 4.35: Argamassa com cal. CARASEK, H. (1996).

Os ensaios foram realizados em conformidade com a NBR 12118: 2014, que prescreve o método de ensaio da resistência à compressão de blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Utilizou-se a NBR 1591-2:2011 que estabelece os requisitos mínimos exigíveis para a execução e o controle de obras com estruturas de alvenaria de bloco de concreto.

Nos corpos de prova blocos de concreto foram empregadas as medidas de 14 cm x 19 cm x 29 cm na idade de 28 dias (Figura 4.36).



(a) Prismas capeados

(b) Prensa Emic de 0 a 120 tf.

Figura 4.36: Prismas capeados e prensa utilizada nos ensaios dos prismas.

Em todos os ensaios a argamassa de assentamento mostrou-se bastante rígida, suportando muito bem a carga até o rompimento dos prismas (Figura 4.37).



(a) Início do ensaio (b) Rompimento (c) Prisma rompido
Figura 4.37: Ensaio de resistência à compressão do prisma com três blocos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentadas as análises dos resultados dos ensaios para cada uma das propriedades estudadas.

5.1 CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COM AMN E COM AMVT PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados dos ensaios de compressão axial nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.1.

Os resultados dos ensaios de tração por compressão diametral nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.2.

Os resultados dos ensaios de retração hidráulica nas idades de 1, 7, 14, 21 e 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.3.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.4.

Os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.5.

Os resultados dos ensaios do coeficiente de Poisson na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados naTabela 5.6.

Os resultados dos ensaios de absorção de água por imersão na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados naTabela 5.7.

Os resultados dos ensaios de absorção de água por sucção capilar na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.8.

Os resultados dos ensaios da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na idade de 64 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8 MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.9.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão do bloco de concreto na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.11.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão do prisma com três blocos de concreto na idade de 28 dias para as resistências de 4 MPa, 6MPa, 8MPa e 10 MPa são apresentados na Tabela 5.12.

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Na resistência estimada de 4 MPa, a verificação da resistência à compressão axial empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 4,84%, e máximo de 20,82%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,15 como valor mais elevado, considerando-se que 1,15 é o valor crítico a cada três ensaios.

Na resistência estimada de 6 MPa, a verificação da resistência à compressão axial empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 1,39%, e máximo de 19,82%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,14 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 8 MPa, a verificação da resistência à compressão axial empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 4,02%, e máximo de 11,66%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,15 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 10 MPa, a verificação da resistência à compressão axial empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 3,52%, e máximo de 12,13%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,15 como valor mais elevado.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.1

Tabela 5.1: Resultados Individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial.

Amostras			7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
			f_{c7} (MPa)	f_{c14} (MPa)	f_{c21} (MPa)	f_{c28} (MPa)
$f_c = 4$ MPa	natural	CN	1,89	3,35	3,25	3,44
			2,38	2,60	3,10	3,95
			1,94	3,21	2,95	4,30
		Média	2,07	3,05	3,10	3,90
		DESVP	0,27	0,40	0,15	0,43
		CV%	13,03	13,06	4,84	11,10
	vidro	CV	1,42	2,54	2,53	2,36
			1,07	2,13	3,40	2,92
			1,41	1,88	2,32	3,45
		Média	1,30	2,18	2,75	2,91
		DESVP	0,20	0,33	0,57	0,55
		CV%	15,33	15,26	20,82	18,73
$f_c = 6$ MPa	natural	CN	3,43	3,72	3,76	4,04
			2,56	2,58	3,44	4,15
			2,40	3,12	2,55	4,07
		Média	2,80	3,14	3,25	4,09
		DESVP	0,55	0,57	0,63	0,06
		CV%	19,82	18,16	19,29	1,39
	vidro	CV	2,37	2,97	2,74	3,78
			2,14	2,40	3,35	3,26
			1,73	3,13	3,04	3,98
		Média	2,08	2,83	3,04	3,67
		DESVP	0,32	0,38	0,31	0,37
		CV%	15,59	13,54	10,02	10,12
$f_c = 8$ MPa	natural	CN	3,20	3,66	4,67	4,90
			3,24	4,24	4,54	4,86
			2,98	3,54	3,82	4,55
		Média	3,14	3,81	4,34	4,77
		DESVP	0,14	0,37	0,46	0,19
		CV%	4,46	9,82	10,54	4,02
	vidro	CV	2,56	2,88	3,44	4,00
			2,45	3,20	3,50	3,51
			2,04	2,70	3,20	3,74
		Média	2,35	2,93	3,38	3,75
		DESVP	0,27	0,25	0,16	0,25
		CV%	11,66	8,65	4,70	6,54
$f_c = 10$ MPa	natural	CN	4,81	5,61	5,19	5,71
			4,58	5,07	6,32	5,56
			5,04	5,14	5,45	6,16
		Média	4,81	5,27	5,65	5,81
		DESVP	0,23	0,29	0,59	0,31
		CV%	4,78	5,57	10,47	5,37
	vidro	CV	2,84	3,91	3,50	4,66
			2,78	3,11	3,45	4,70
			2,65	3,82	3,84	4,30
		Média	2,76	3,61	3,60	4,55
		DESVP	0,10	0,44	0,21	0,22
		CV%	3,52	12,13	5,90	4,84

No diagrama de dispersão (Figura 5.1) se analisa a correlação entre os valores da resistência à compressão axial estimada de 4 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

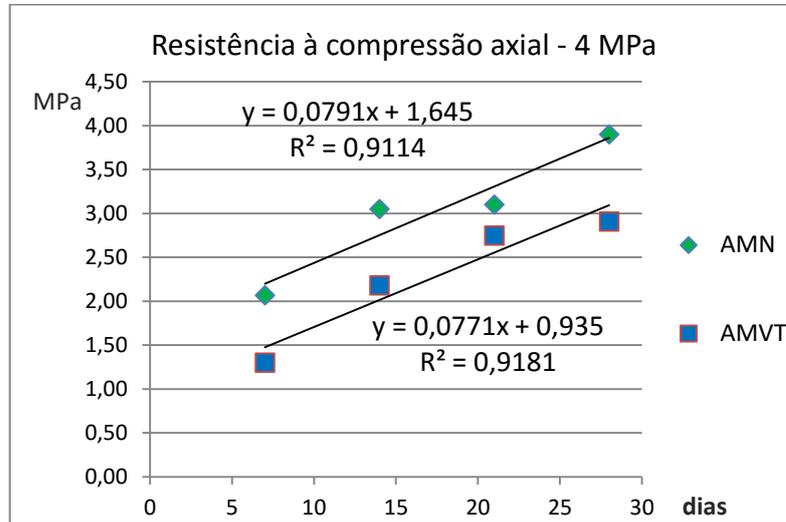


Figura 5.1: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 4 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto em relação ao tempo. A inclinação da reta de regressão da ordem de 0,07% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN é praticamente igual à inclinação para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a troca do agregado miúdo de pó de pedra por vidro triturado altera a resistência de um valor constante.

A Figura 5.2 mostra o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito fraca, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

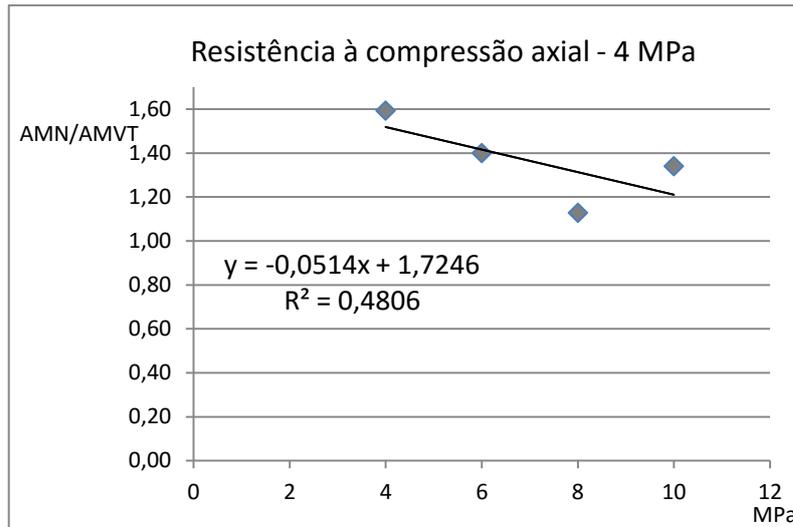


Figura 5.2: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT com relação a resistência estimada de 4 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.

No diagrama de dispersão (Figura 5.3) se analisa a correlação entre os valores da resistência à compressão axial estimada de 6 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

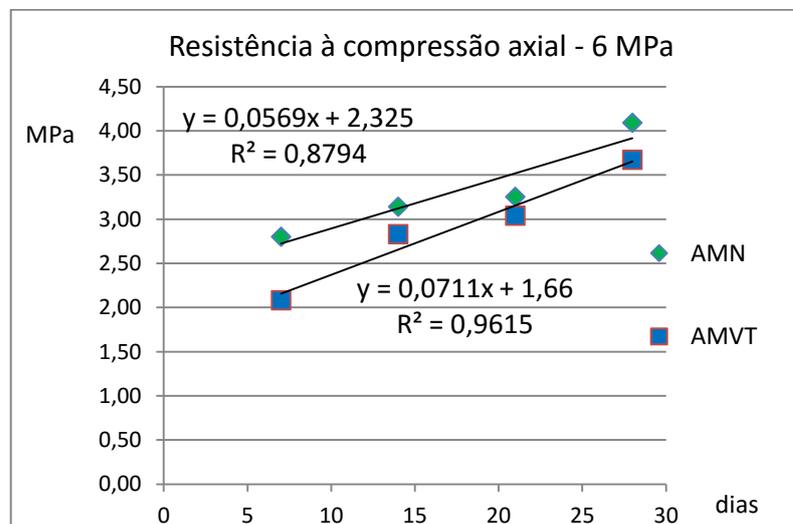


Figura 5.3: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 6 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 0,5% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,7% para o

corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT é cerca de 0,2% menor que a resistência do concreto com AMN nos corpos de prova cilíndricos.

A Figura 5.4 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada que não existe correlação.

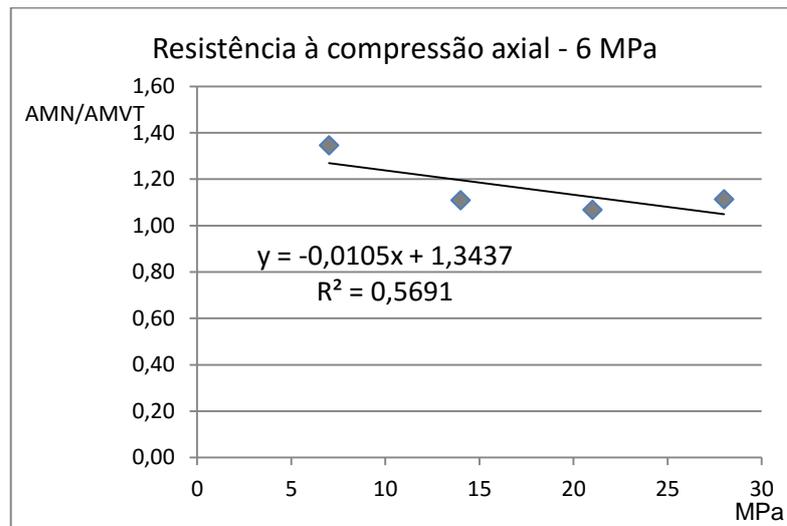


Figura 5.4: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT com relação a resistência estimada de 6 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.

No diagrama de dispersão (Figura 5.5) se analisa a correlação entre os valores da resistência à compressão axial estimada de 8 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

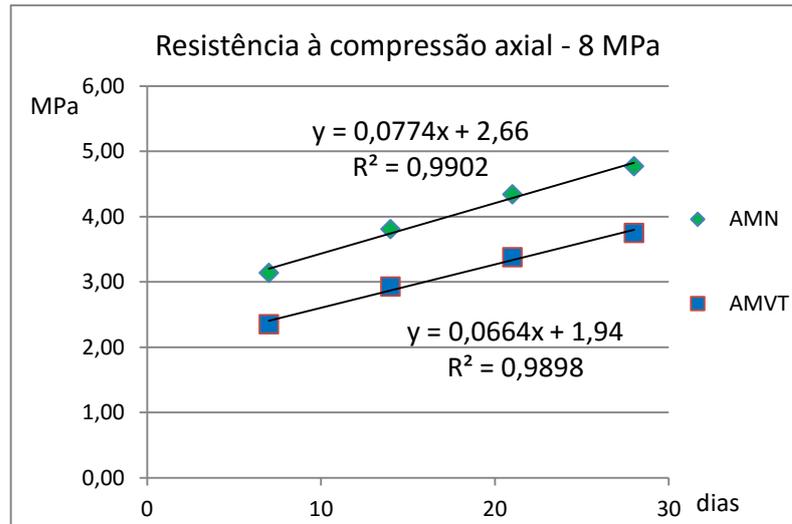


Figura 5.5: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 8 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 0,7% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,6% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT é cerca de 0,1% menor que a resistência do concreto com AMN nos corpos de prova cilíndricos.

A Figura 5.6 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito forte, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada que não existe correlação.

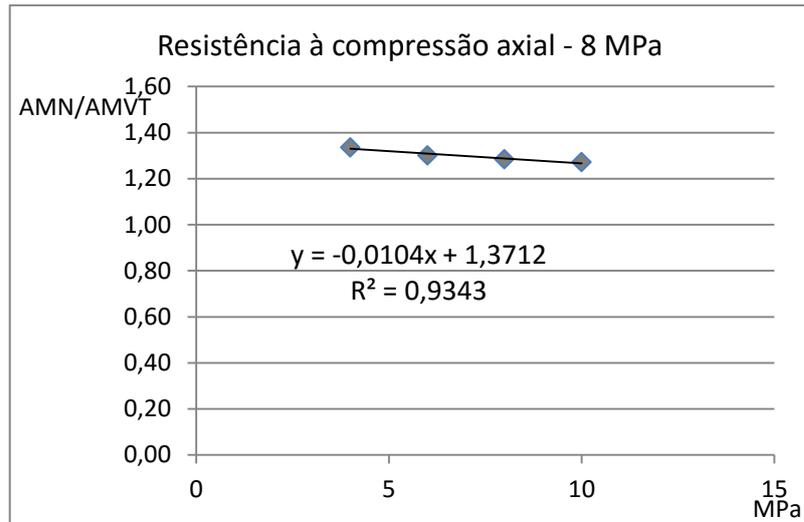


Figura 5.6: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT com relação a resistência estimada de 8 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.

No diagrama de dispersão (Figura 5.7) se analisa a correlação entre os valores da resistência à compressão axial estimada de 10 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

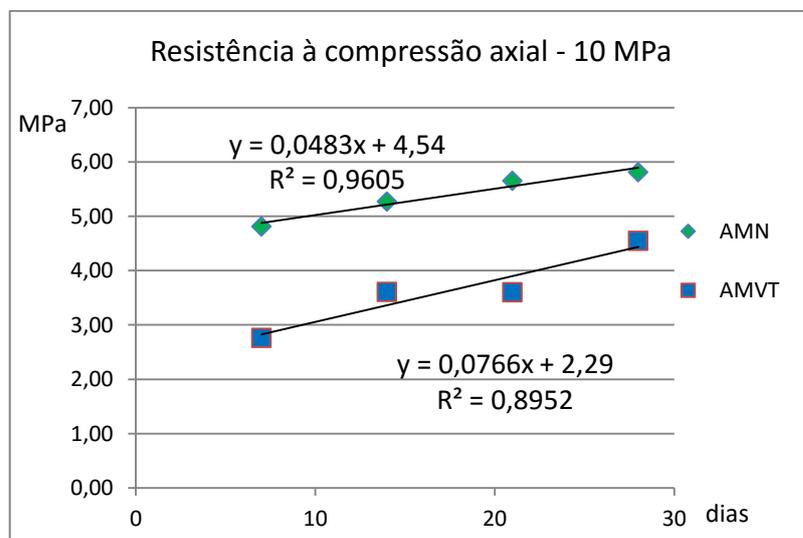


Figura 5.7: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 10 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,4% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,7% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com

AMVT é cerca de 0,3% menor que a resistência do concreto com AMN nos corpos de prova cilíndricos.

A Figura 5.8 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é forte, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada existe uma correlação.

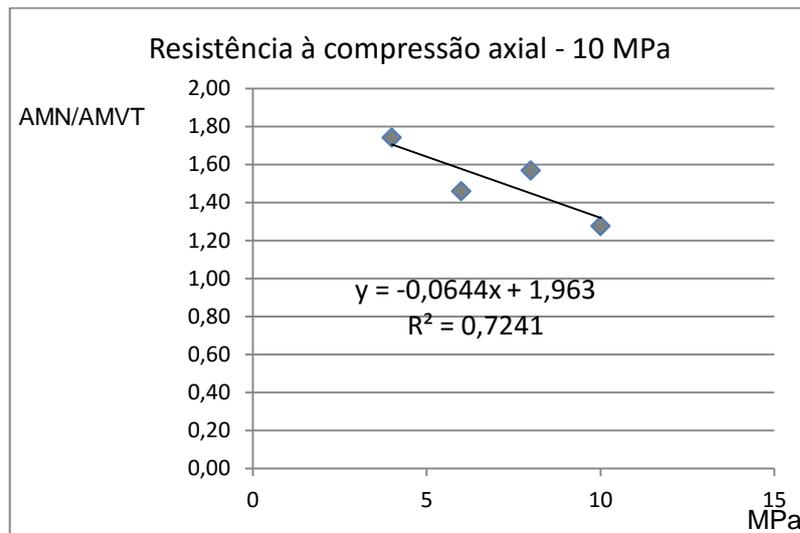


Figura 5.8: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de Pearson para a razão AMN/AMVT com relação a resistência estimada de 10 MPa à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.

5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na resistência estimada de 4 MPa a verificação da resistência à tração por compressão diametral empregou 24 corpos de prova. O coeficiente apresentou valor mínimo de 4,82%, e máximo de 22,93%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,14 como valor mais elevado, considerando-se que 1,15 é o valor crítico a cada três ensaios.

Na resistência estimada de 6 MPa a verificação da resistência à tração por compressão diametral empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 4,82%, e máximo de 22,93%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,14 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 8 MPa a verificação da resistência à tração por compressão diametral empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação

apresentou valor mínimo de 4,82%, e máximo de 22,93%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,14 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 10 MPa a verificação da resistência à tração por compressão diametral empregou 24 corpos de prova. O coeficiente de variação apresentou valor mínimo de 8,57%, e máximo de 21,11%. Pelo Teste de *Grubbs*, verificou-se 1,14 como valor mais elevado.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão diametral.

Amostras			7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
			f_{c7} (MPa)	f_{c14} (MPa)	f_{c21} (MPa)	f_{c28} (MPa)
$f_c = 4 \text{ MPa}$	natural	CN	0,24	0,31	0,40	0,37
			0,15	0,35	0,39	0,40
			0,20	0,26	0,34	0,44
		Média	0,20	0,31	0,38	0,40
		DESVP	0,05	0,05	0,03	0,04
		CV%	22,93	14,70	8,53	8,71
	vidro	CV	0,16	0,24	0,33	0,46
			0,21	0,30	0,30	0,32
			0,17	0,31	0,32	0,34
		Média	0,18	0,28	0,32	0,37
		DESVP	0,03	0,04	0,02	0,08
		CV%	14,70	13,36	4,82	20,28
$f_c = 6 \text{ MPa}$	natural	CN	0,24	0,35	0,37	0,40
			0,32	0,36	0,36	0,34
			0,33	0,30	0,44	0,49
		Média	0,30	0,34	0,39	0,41
		DESVP	0,05	0,03	0,04	0,08
		CV%	16,63	9,55	11,18	18,41
	vidro	CV	0,29	0,41	0,38	0,36
			0,33	0,28	0,30	0,39
			0,25	0,28	0,39	0,42
		Média	0,29	0,32	0,36	0,39
		DESVP	0,04	0,08	0,05	0,03
		CV%	13,79	23,21	13,83	7,69
$f_c = 8 \text{ MPa}$	natural	CN	0,38	0,36	0,41	0,52
			0,30	0,41	0,49	0,45
			0,46	0,43	0,39	0,55
		Média	0,38	0,40	0,43	0,51
		DESVP	0,08	0,04	0,05	0,05
		CV%	21,05	9,01	12,31	10,13
	vidro	CV	0,42	0,41	0,33	0,43
			0,35	0,36	0,46	0,58
			0,29	0,36	0,40	0,39
		Média	0,35	0,38	0,40	0,47
		DESVP	0,07	0,03	0,07	0,10
		CV%	18,41	7,66	16,40	21,46
$f_c = 10 \text{ MPa}$	natural	CN	0,41	0,51	0,77	0,64
			0,62	0,63	0,67	0,76
			0,51	0,56	0,50	0,70
		Média	0,51	0,57	0,65	0,70
		DESVP	0,11	0,06	0,14	0,06
		CV%	20,46	10,64	21,11	8,57
	vidro	CV	0,57	0,50	0,62	0,52
			0,39	0,61	0,51	0,69
			0,48	0,45	0,59	0,66
		Média	0,48	0,52	0,57	0,62
		DESVP	0,09	0,08	0,06	0,09
		CV%	18,75	15,74	9,92	14,56

No diagrama de dispersão (Figura)se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 4 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

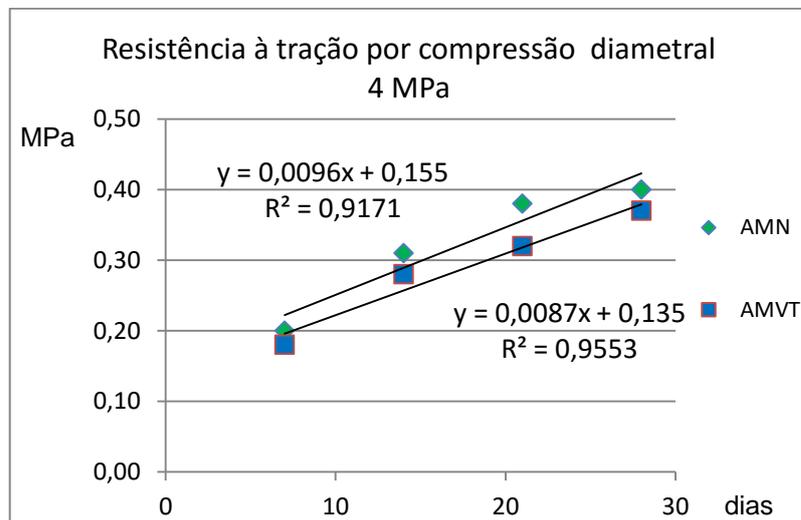


Figura 5.9: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 4 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,009% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,0087% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT é cerca de 0,0009% menor que a resistência do concreto com AMN nos corpos de prova cilíndricos.

A Figura 5.10 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

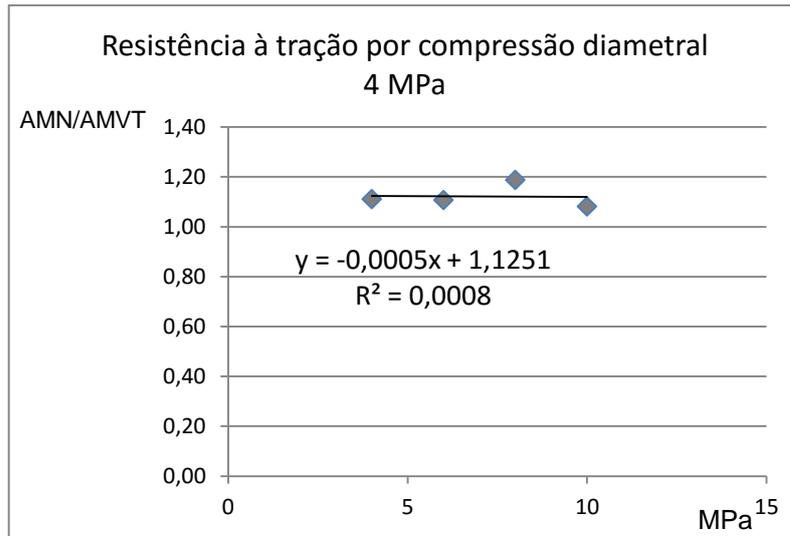


Figura 5.10: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 4 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão (Figura 5.11) se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 6 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

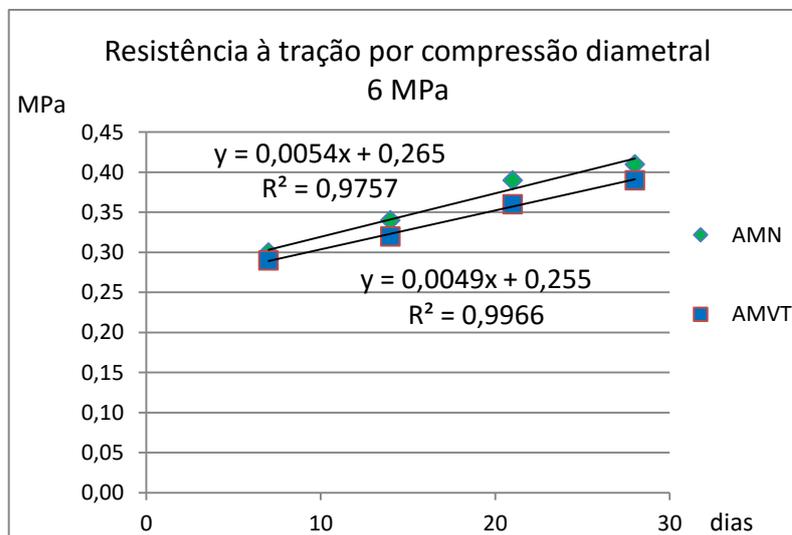


Figura 5.11: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 6 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à tração por compressão

diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,0054% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,0049% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT indica crescimento de resistências semelhantes.

A Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.** Figura 5.12 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

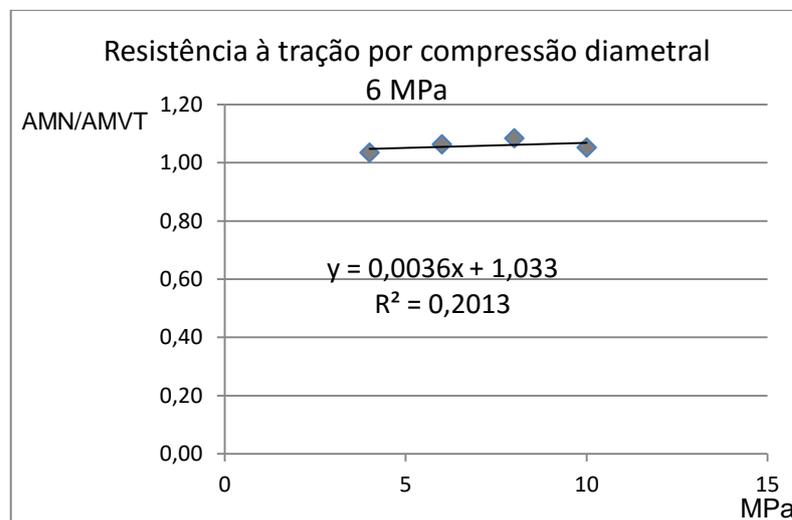


Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.** 5.12: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 6 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão Figura 5.13 se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 4 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

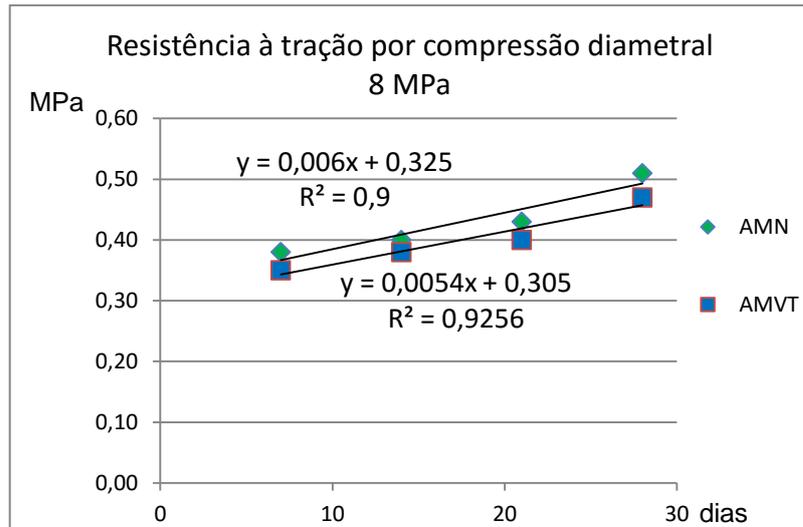


Figura 5.13: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 8 MPa à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,006% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,0054% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT indica crescimento de resistências semelhantes.

A Figura 5.14 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

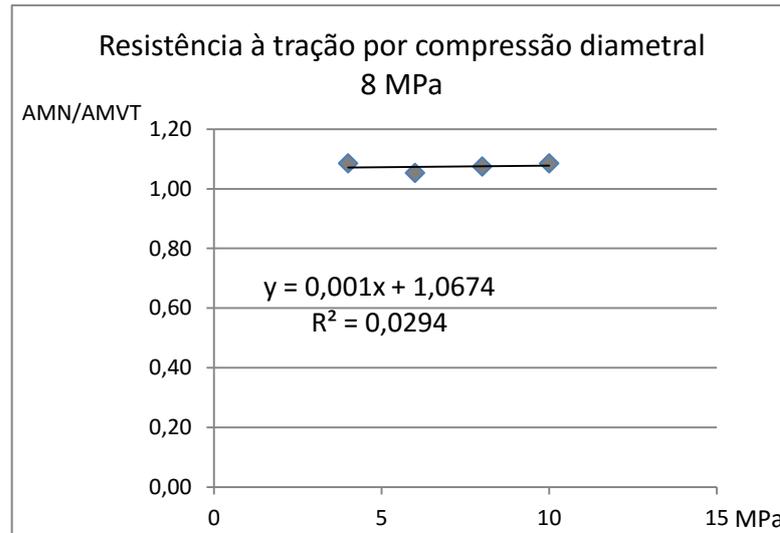


Figura 5.14: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 8 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão (Figura 5.15) se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 10 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

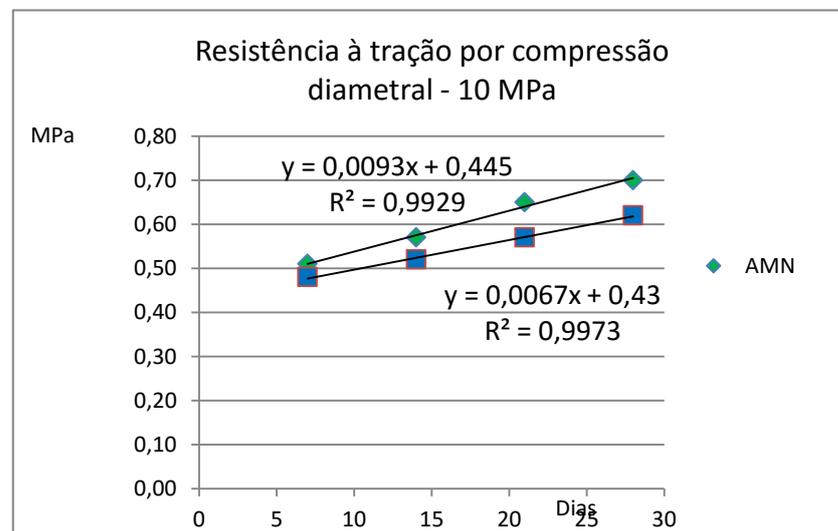


Figura 5.15: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência estimada de 10 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à tração por compressão

diametral dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,0093% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de,0,0067% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT é inferior mas não muito inferior ao concreto com AMN.

No diagrama de dispersão da Figura 5.16 se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral nos ensaios dos corpos de prova de concreto com AMN e AMVT. O coeficiente de correlação linear de Pearson indica uma correlação forte entre a resistência à tração por compressão diametral do corpo de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à tração por compressão diametral do corpo de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 71%, indica que a resistência à tração por compressão diametral do concreto com AMVT é cerca de 29% menor que a resistência à tração por compressão diametral do concreto com AMN.

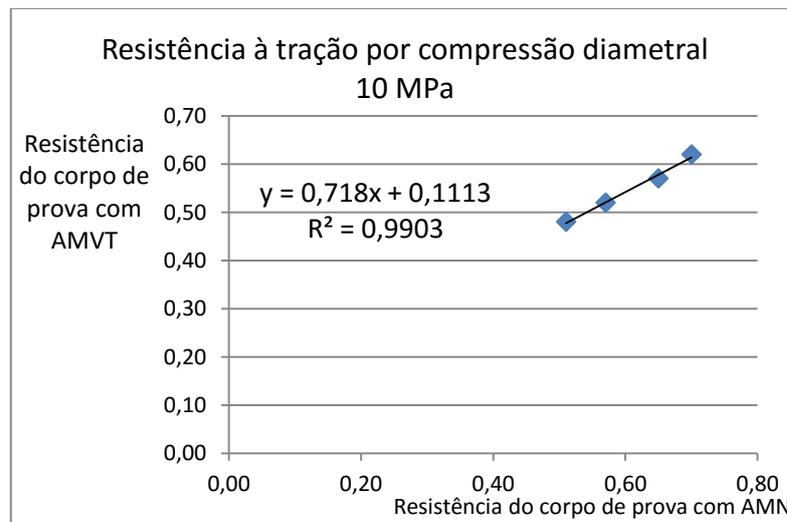


Figura 5.16: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência do concreto com AMVT em relação à resistência do concreto com AMN na tração por compressão diametral nos corpos de prova cilíndricos na resistência estimada de 10 MPa.

A Figura 5.17 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT é pouco influenciada pela resistência.

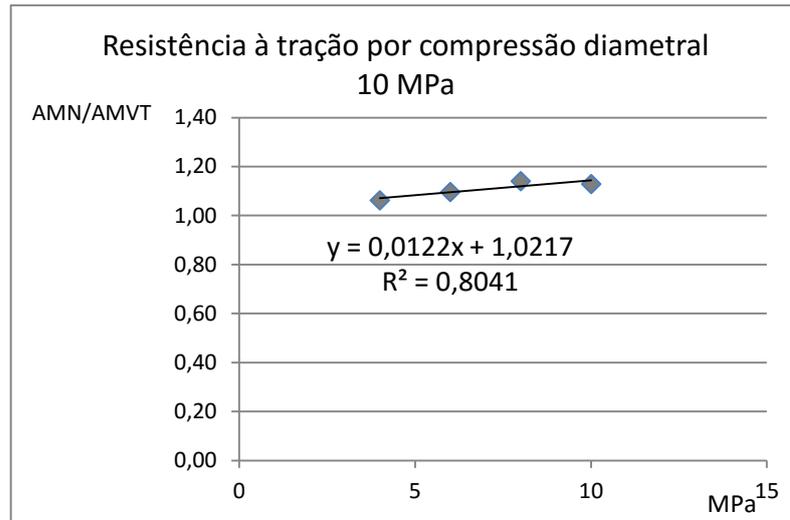


Figura 5.17: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na resistência estimada de 10 MPa à compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos.

No que se refere ao AMVT tem-se superfícies altamente polidas, esse tipo de superfície afeta a aderência que se reflete na resistência à tração (PETRUCCI, 1978).

Quando ocorre uma aumento na resistência à compressão também ocorre uma aumento na resistência à tração, porém, numa taxa menor (NEVILLE, 1982). A razão entre a tração uniaxial e à compressão gira em torno de 7% a 11% (METHA e MONTEIRO, 2008).

METHA E MONTEIRO (1994) salientam que os agregados de textura rugosa ou triturados apresentam maior resistência que um concreto correspondente contendo agregado liso, principalmente à tração. Os agregados de vidro triturados são mais liso do que o pó de pedra.

5.4 RETRAÇÃO HIDRÁULICA

Na resistência estimada de 4 MPa a verificação dos índices de retração hidráulica empregou três corpos de prova com AMN, e três com AMVT, tendo sido realizadas duas medições em cada corpo de prova. O coeficiente de variação se manteve abaixo dos 25%, resultando em 5,03% como valor mínimo, e 19,58% como valor máximo. Pelo Teste de *Grubbs* verificou-se 1,71 como valor mais elevado, considerando-se que para ensaios com seis amostras o valor crítico é de 1,89

Na resistência estimada de 6 MPa a verificação dos índices de retração hidráulica empregou três corpos de prova com AMN, e três com AMVT, tendo sido realizadas duas medições em cada corpo de prova. O coeficiente de variação resultou em 0,79% como valor mínimo, e 18,44% como valor máximo. Pelo Teste de *Grubbs* verificou-se 1,68 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 8 MPa a verificação dos índices de retração hidráulica empregou três corpos de prova com AMN, e três com AMVT, tendo sido realizadas duas medições em cada corpo de prova. O coeficiente de variação resultou em 0,66% como valor mínimo, e 24,73% como valor máximo. Pelo Teste de *Grubbs* verificou-se 1,77 como valor mais elevado.

Na resistência estimada de 10 MPa a verificação dos índices de retração hidráulica empregou três corpos de prova com AMN, e três com AMVT, tendo sido realizadas duas medições em cada corpo de prova. O coeficiente de variação resultou em 6,22% como valor mínimo, e 18,62% como valor máximo. Pelo Teste de *Grubbs* verificou-se 1,73 como valor mais elevado.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios de retração hidráulica.

Amostras			1 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
			mm	mm	mm	mm	mm
<i>f_c = 4 MPa</i>	natural	CN	- 0,042	- 0,164	- 0,164	- 0,165	- 0,171
			- 0,047	- 0,165	- 0,185	- 0,188	- 0,196
			- 0,042	- 0,161	- 0,167	- 0,177	- 0,170
			- 0,048	- 0,190	- 0,190	- 0,190	- 0,190
			- 0,042	- 0,166	- 0,167	- 0,179	- 0,168
			- 0,054	- 0,196	- 0,202	- 0,182	- 0,202
		Média	- 0,046	- 0,173	- 0,179	- 0,180	- 0,183
	DESVP	0,005	0,015	0,016	0,009	0,015	
	CV%	10,56	8,71	8,68	5,03	8,22	
	vidro	CV	- 0,043	- 0,173	- 0,172	- 0,172	- 0,173
			- 0,034	- 0,136	- 0,137	- 0,142	- 0,138
			- 0,039	- 0,156	- 0,154	- 0,152	- 0,154
			- 0,047	- 0,184	- 0,185	- 0,183	- 0,189
			- 0,052	- 0,202	- 0,206	- 0,208	- 0,209
- 0,059			- 0,226	- 0,233	- 0,233	- 0,234	
Média		- 0,046	- 0,179	- 0,181	- 0,182	- 0,183	
DESVP	0,009	0,032	0,035	0,034	0,035		
CV%	19,58	17,92	19,20	18,88	19,40		
<i>f_c = 6 MPa</i>	natural	CN	- 0,038	- 0,146	- 0,148	- 0,148	- 0,148
			- 0,049	- 0,190	- 0,193	- 0,194	- 0,193
			- 0,047	- 0,188	- 0,188	- 0,189	- 0,190
			- 0,053	- 0,212	- 0,212	- 0,212	- 0,214
			- 0,040	- 0,157	- 0,158	- 0,158	- 0,158
			- 0,048	- 0,192	- 0,191	- 0,191	- 0,192
		Média	- 0,046	- 0,181	- 0,182	- 0,182	- 0,182
	DESVP	0,006	0,025	0,024	0,024	0,025	
	CV%	12,90	13,57	13,29	13,32	13,51	
	vidro	CV	- 0,057	- 0,184	- 0,223	- 0,175	- 0,188
			- 0,046	- 0,180	- 0,185	- 0,186	- 0,185
			- 0,035	- 0,183	- 0,152	- 0,142	- 0,187
			- 0,061	- 0,182	- 0,215	- 0,242	- 0,189
			- 0,050	- 0,182	- 0,157	- 0,198	- 0,186
- 0,057			- 0,180	- 0,201	- 0,199	- 0,186	
Média		- 0,051	- 0,182	- 0,189	- 0,190	- 0,187	
DESVP	0,009	0,002	0,030	0,033	0,001		
CV%	18,44	0,88	15,67	17,29	0,79		

Tabela 5.4: Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios de retração hidráulica (continuação).

Amostras			1 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
			mm	mm	mm	mm	mm
$f_c = 8 \text{ MPa}$	natural	CN	-0,041	-0,179	-0,162	-0,162	-0,163
			-0,051	-0,180	-0,224	-0,214	-0,224
			-0,054	-0,185	-0,212	-0,212	-0,212
			-0,050	-0,187	-0,199	-0,199	-0,199
			-0,040	-0,183	-0,164	-0,164	-0,165
			-0,047	-0,179	-0,187	-0,187	-0,187
		Média	-0,047	-0,182	-0,191	-0,190	-0,192
	DESVP	0,006	0,003	0,025	0,023	0,025	
	CV%	11,87	1,84	13,17	12,07	12,98	
	vidro	CV	-0,066	-0,186	-0,193	-0,182	-0,199
			-0,054	-0,183	-0,190	-0,202	-0,160
			-0,037	-0,185	-0,184	-0,186	-0,190
			-0,037	-0,183	-0,198	-0,192	-0,190
			-0,056	-0,184	-0,195	-0,198	-0,190
-0,065			-0,185	-0,213	-0,189	-0,236	
Média		-0,052	-0,184	-0,195	-0,192	-0,194	
DESVP	0,013	0,001	0,010	0,007	0,024		
CV%	24,73	0,66	5,07	3,90	12,55		
$f_c = 10 \text{ MPa}$	natural	CN	-0,043	-0,173	-0,173	-0,174	-0,174
			-0,043	-0,175	-0,176	-0,178	-0,179
			-0,051	-0,239	-0,239	-0,239	-0,240
			-0,053	-0,211	-0,211	-0,212	-0,212
			-0,051	-0,202	-0,203	-0,203	-0,205
			-0,042	-0,148	-0,149	-0,149	-0,149
		Média	-0,047	-0,192	-0,192	-0,193	-0,193
	DESVP	0,005	0,032	0,032	0,037	0,036	
	CV%	10,69	16,95	16,77	18,62	18,88	
	vidro	CV	-0,050	-0,203	-0,197	-0,197	-0,198
			-0,045	-0,190	-0,179	-0,179	-0,180
			-0,055	-0,201	-0,218	-0,216	-0,220
			-0,043	-0,194	-0,163	-0,192	-0,178
			-0,048	-0,208	-0,213	-0,199	-0,192
-0,051			-0,174	-0,204	-0,200	-0,204	
Média		-0,048	-0,195	-0,196	-0,197	-0,195	
DESVP	0,004	0,012	0,021	0,019	0,020		
CV%	8,94	6,22	10,75	9,37	10,27		

No diagrama de dispersão (Figura 5.18)se analisa a correlação entre os valores da retração hidráulica estimada de 4 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

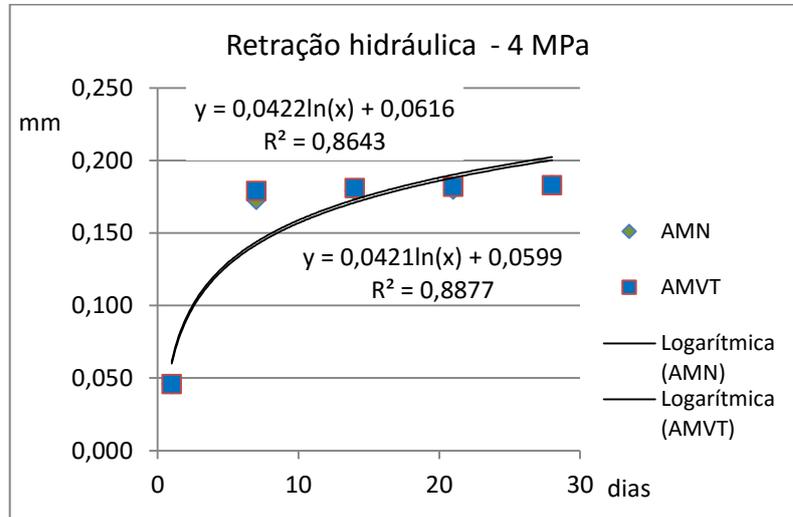


Figura 5.18: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a retração hidráulica na resistência estimada de 4 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

Para a retração e o tempo em escala logarítmica as curvas se sobrepõem.

A Figura 5.19 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à idade estimada é fraco, parece indicar que na razão entre a retração hidráulica do concreto com AMN e a retração hidráulica do concreto com AMVT em relação a idade não existe correlação.

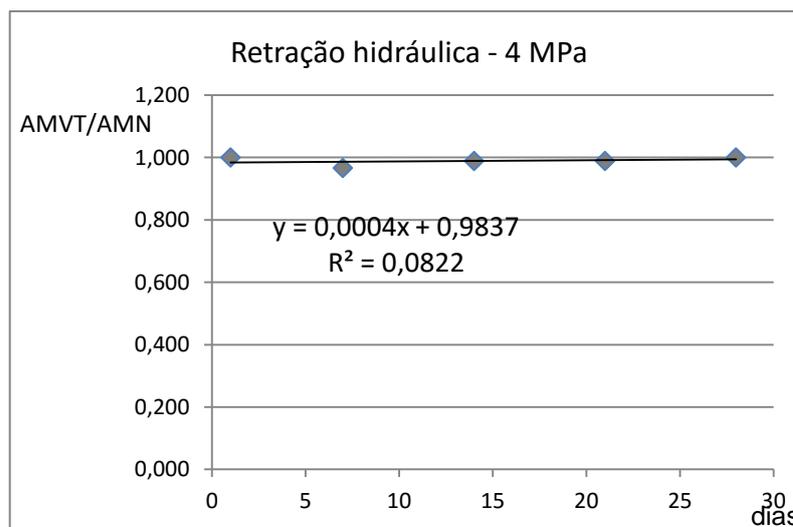


Figura 5.19: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na retração hidráulica com relação a idade na resistência estimada de 4 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão (Figura 5.20) se analisa a correlação entre os valores da retração hidráulica estimada de 6 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

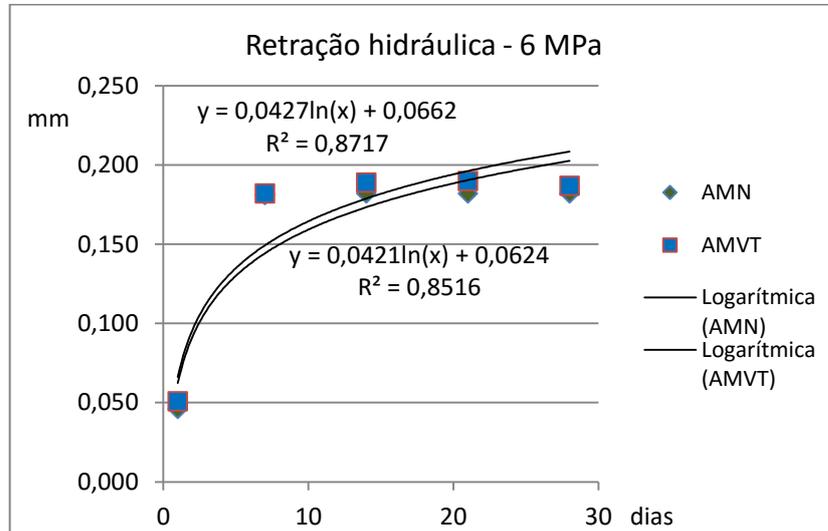


Figura 5.20: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a retração hidráulica na resistência estimada de 6 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

Para a retração e o tempo em escala logarítmica as curvas se sobrepõem.

A Figura 5.21 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à idade é muito fraco, parece indicar que na razão entre a retração hidráulica do concreto com AMN e a retração hidráulica do concreto com AMVT em relação a idade não existe correlação.

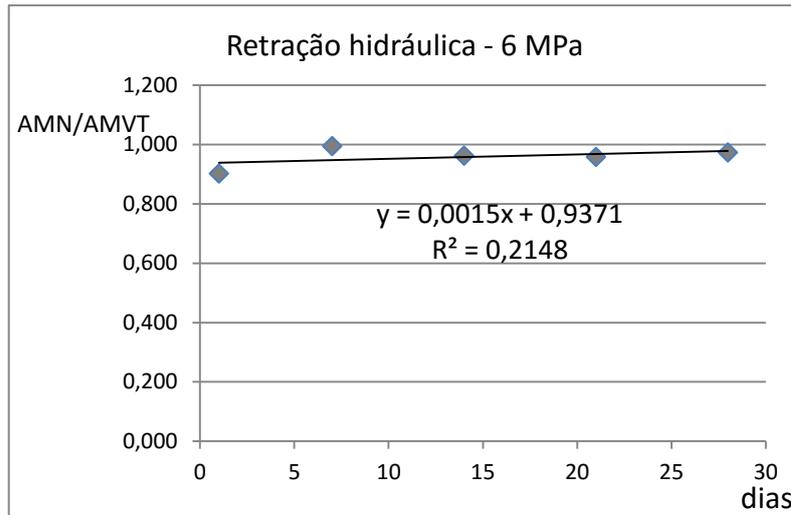


Figura 5.21: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na retração hidráulica com relação a idade na resistência estimada de 6 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão (Figura 5.22) se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 8 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

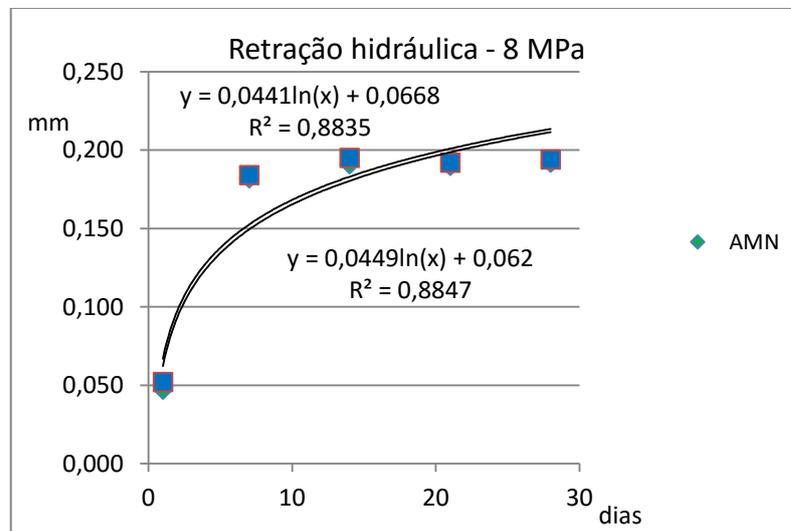


Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**5.22: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a retração hidráulica nas resistências estimadas de 8 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

Para a retração e o tempo em escala logarítmica as curvas se sobrepõem.

A Figura 5.23 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à idade é fraco, parece indicar que na razão entre

à retração hidráulica do concreto com AMN e a retração hidráulica do concreto com AMVT em relação a idade não existe correlação.

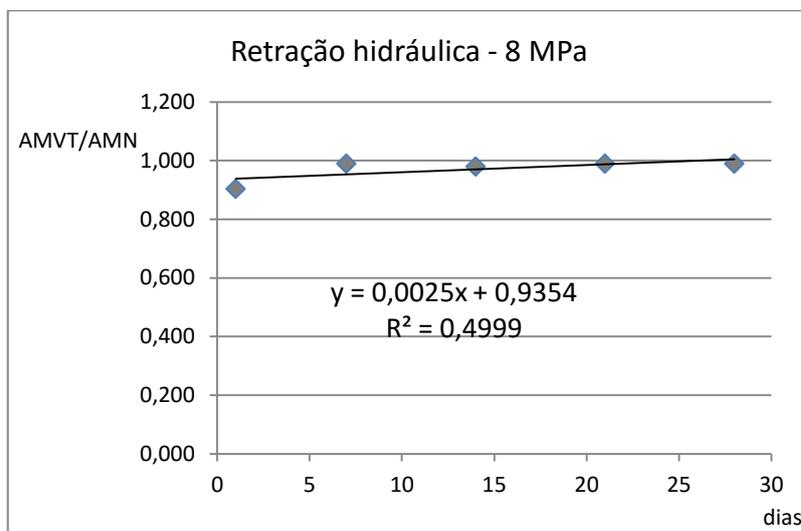


Figura 5.23: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na retração hidráulica com relação a idade na resistência estimada de 8 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

No diagrama de dispersão (Figura 5.24) se analisa a correlação entre os valores da resistência à tração por compressão diametral estimada de 10 MPa, obtidas nos ensaios dos corpos de provas de concreto com relação às idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

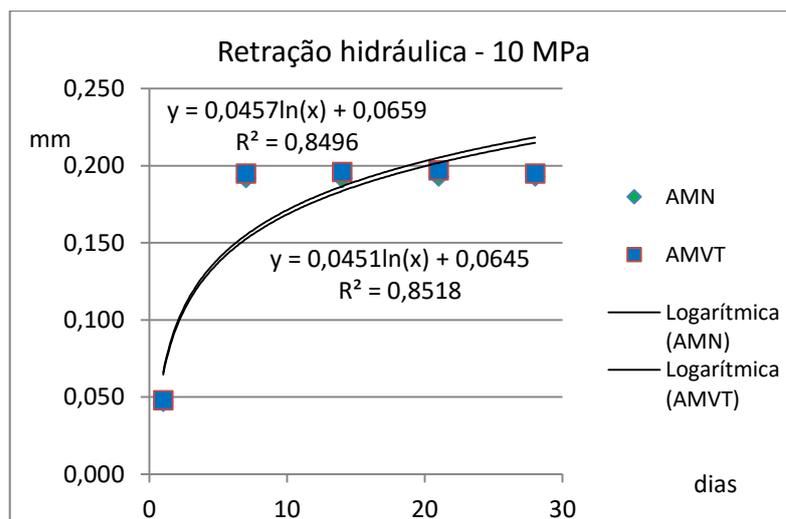


Figura 5.24: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a retração hidráulica na resistência estimada de 10 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

Para a retração e o tempo em escala logarítmica as curvas se sobrepõem.

A Figura 5.25 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à idade é fraco, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a idade não existe correlação.

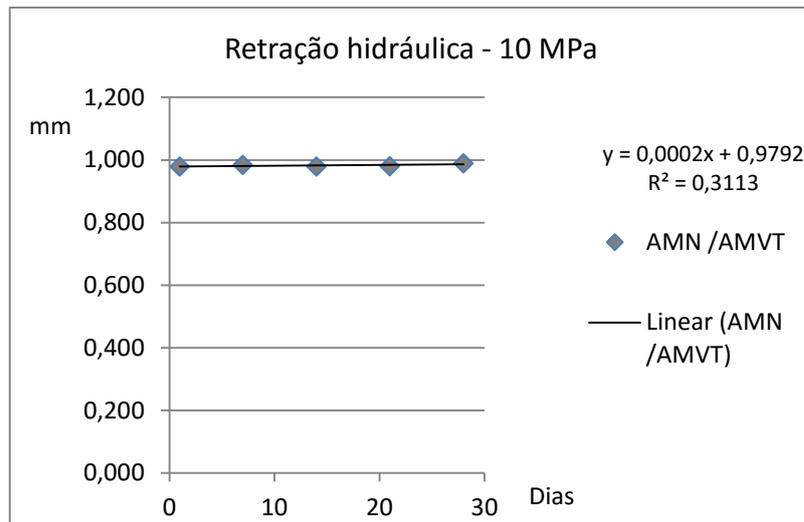


Figura 5.25: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na retração hidráulica com relação a idade na resistência estimada de 10 MPa dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT.

5.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

De acordo com os 24 corpos de prova utilizados nesses ensaios o coeficiente de variação indicou o valor mínimo de 2,95% e o máximo de 20,35%. O valor mais alto correspondeu à mesma marca estipulada a cada três ensaios, que é relativa ao valor crítico de 1,15, segundo o Teste de *Grubbs*.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à tração na flexão.

Amostras			28 dias
			f_{c28} (MPa)
$f_c = 4 \text{ MPa}$	natural	CN	0,48
			0,49
			0,55
		Média	0,51
		DESVP	0,04
	CV%	7,47	
	vidro	CV	0,43
			0,38
			0,56
		Média	0,46
DESVP		0,09	
CV%	20,35		
$f_c = 6 \text{ MPa}$	natural	CN	0,69
			0,70
			0,73
		Média	0,71
		DESVP	0,02
	CV%	2,95	
	vidro	CV	0,45
			0,46
			0,53
		Média	0,48
DESVP		0,04	
CV%	9,08		
$f_c = 8 \text{ MPa}$	natural	CN	0,82
			0,75
			0,89
		Média	0,82
		DESVP	0,07
	CV%	8,54	
	vidro	CV	0,75
			0,54
			0,66
		Média	0,65
DESVP		0,11	
CV%	16,21		
$f_c = 10 \text{ MPa}$	natural	CN	0,84
			1,07
			0,91
		Média	0,94
		DESVP	0,12
	CV%	12,54	
	vidro	CV	0,70
			0,95
			0,90
		Média	0,85
DESVP		0,13	
CV%	15,56		

No diagrama de dispersão (Figura 5.26) se analisa a correlação entre os valores das resistências à tração na flexão nos ensaios dos corpos de prova de concreto com relação às resistências de referência.

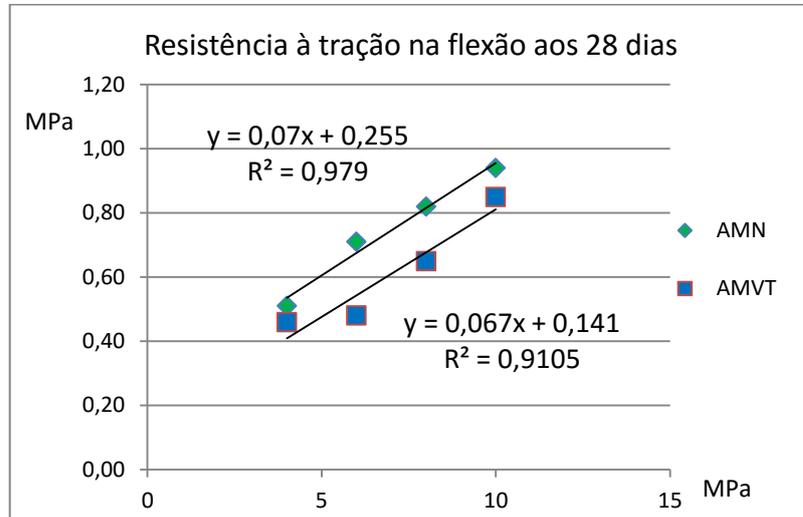


Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**5.26: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência à tração por flexão dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a resistência à tração por flexão dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 0,07% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,067% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência à tração por flexão do concreto com AMVT é cerca de 0,003% menor que a resistência à tração por flexão do corpo de prova de concreto com AMN.

A Figura Figura 5.27 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito fraca, parece indicar que na razão entre a resistência à tração na flexão no corpo de prova de concreto com AMN e a resistência à tração na flexão no corpo de prova de concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

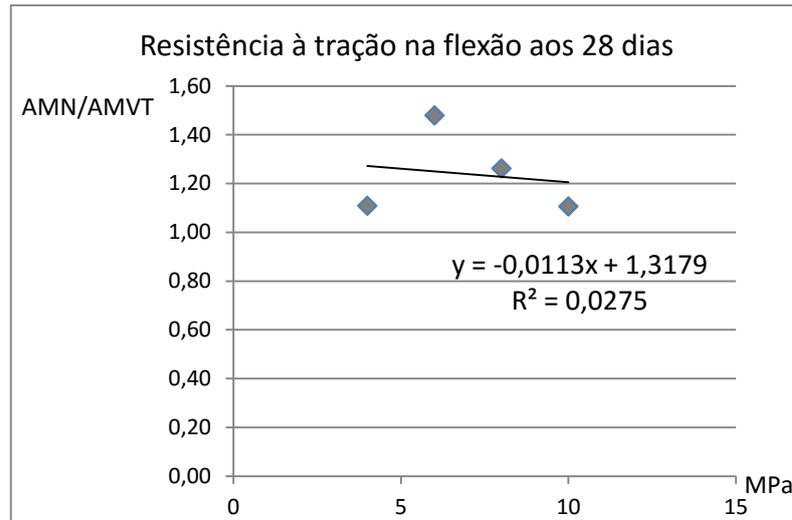


Figura 5.27: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos com AMN e AMVT aos 28 dias.

RÜSCH (1981) salienta que em geral a resistência à tração na flexão aumenta com a idade do concreto, como ocorre com a resistência à compressão. Entretanto, observa-se frequentemente no concreto novo uma diminuição temporária da resistência à tração na flexão. Isto é explicado pelas tensões devidas à retração, que surgem durante a secagem e que produzem tração nos bordos e compressão no interior da peça.

5.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Nesses ensaios o coeficiente de variação apresentou o valor mínimo de 2,18% e o máximo de 12,92%. Foram utilizados 24 corpos de prova. Aplicando-se o Teste de *Grubbs* o valor mais alto identificado foi de 1,15, que corresponde ao mesmo valor crítico determinado a cada três ensaios.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.5.

Tabela **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.5.5:** Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios do módulo de elasticidade.

Amostras			28 dias
			GPa
<i>fc = 4 MPa</i>	natural	CN	5,69
			5,25
			6,20
		Média	5,71
		DESVP	0,48
	CV%	8,32	
	vidro	CV	4,46
			5,11
			4,70
		Média	4,76
DESVP		0,33	
CV%	6,91		
<i>fc = 6 MPa</i>	natural	CN	7,12
			7,28
			6,97
		Média	7,12
		DESVP	0,16
	CV%	2,18	
	vidro	CV	7,41
			5,97
			7,64
		Média	7,01
DESVP		0,91	
CV%	12,92		
<i>fc = 8 MPa</i>	natural	CN	8,25
			6,98
			7,80
		Média	7,68
		DESVP	0,64
	CV%	8,39	
	vidro	CV	7,99
			7,76
			6,58
		Média	7,44
DESVP		0,76	
CV%	10,16		
<i>fc = 10 MPa</i>	natural	CN	13,48
			14,75
			15,73
		Média	14,65
		DESVP	1,13
	CV%	7,70	
	vidro	CV	12,63
			12,24
			14,50
		Média	13,12
DESVP		1,21	
CV%	9,21		

No diagrama de dispersão (Figura 5.28) se analisa a correlação entre os valores dos módulos de elasticidade nos ensaios dos corpos de prova de concreto com relação às resistências de referência.

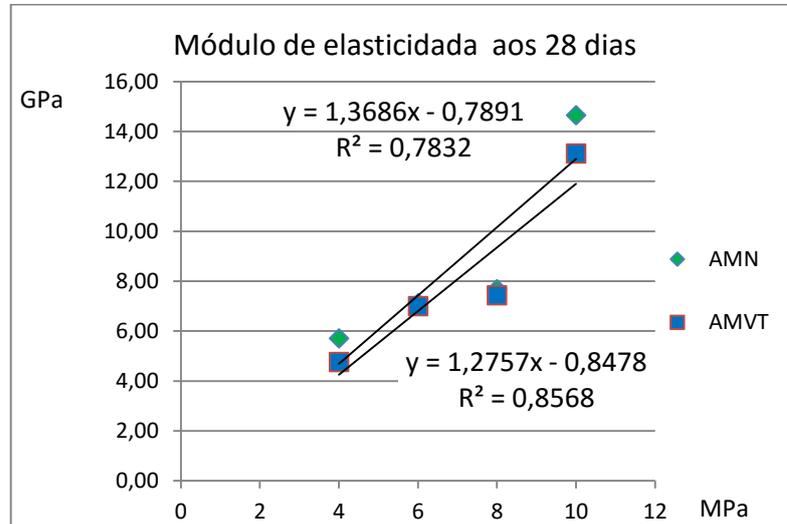


Figura 5.28: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para o módulo de elasticidade dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre o módulo de elasticidade dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e o módulo de elasticidade dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 36% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 27% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que o módulo de elasticidade do concreto com AMVT é cerca de 9% menor que o módulo de elasticidade do corpo de prova de concreto com AMN.

A Figura 5.29 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é fraca, parece indicar que na razão entre o módulo de elasticidade no corpo de prova de concreto com AMN e o módulo de elasticidade no corpo de prova de concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

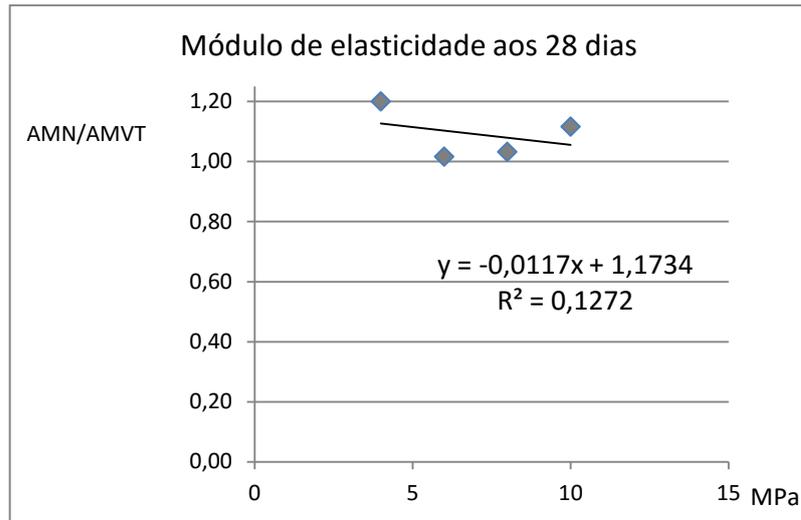


Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**5.29: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT no módulo de elasticidade em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.

5.7 COEFICIENTE DE *POISSON*

O coeficiente de variação nesses ensaios mostrou o valor mínimo de 3,94% e máximo de 21,82%, a partir da análise dos 24 corpos de prova. Os resultados do Teste de *Grubbs* corroboram o valor mais alto encontrado que foi 1,15, isto é, o mesmo fixado para o valor crítico em ensaios com três amostras.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Resultados individuais, médias, desvio padrão e coeficientes de variação dos ensaios do coeficiente de *Poisson*.

Amostras			28 dias
<i>fc = 4 MPa</i>	natural	CN	0,12
			0,16
			0,18
		Média	0,15
		DESVP	0,03
	CV%	19,92	
	vidro	CV	0,10
			0,11
			0,13
		Média	0,11
DESVP		0,02	
CV%	13,48		
<i>fc = 6 MPa</i>	natural	CN	0,20
			0,22
			0,19
		Média	0,20
		DESVP	0,02
	CV%	7,51	
	vidro	CV	0,13
			0,12
			0,10
		Média	0,12
DESVP		0,02	
CV%	13,09		
<i>fc = 8 MPa</i>	natural	CN	0,16
			0,25
			0,22
		Média	0,21
		DESVP	0,05
	CV%	21,82	
	vidro	CV	0,15
			0,14
			0,15
		Média	0,15
DESVP		0,01	
CV%	3,94		
<i>fc = 10 MPa</i>	natural	CN	0,20
			0,26
			0,23
		Média	0,23
		DESVP	0,03
	CV%	13,04	
	vidro	CV	0,22
			0,18
			0,20
		Média	0,20
DESVP		0,02	
CV%	10,00		

No diagrama de dispersão (Figura 5.30) se analisa a correlação entre os valores dos coeficientes de *Poisson* nos ensaios dos corpos de prova de concreto com relação às resistências de referência.

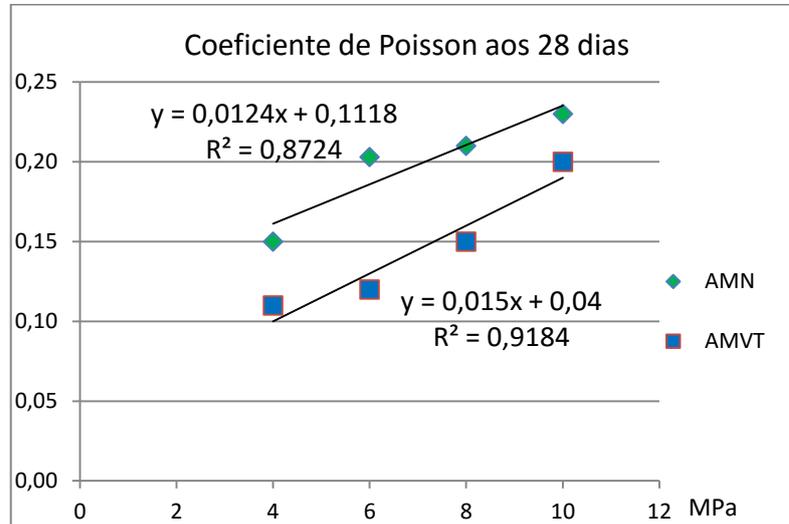


Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**5.30: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para o coeficiente de *Poisson* dos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre o coeficiente de *Poisson* dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e o coeficiente de *Poisson* dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 0,012%, para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN e de 0,015% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT, indica que o coeficiente de *Poisson* do concreto com AMVT é cerca de 0,003% menor que o coeficiente de *Poisson* do corpo de prova de concreto com AMN.

A Figura 5.31 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito fraca, parece indicar que na razão entre o coeficiente de *Poisson* no corpo de prova de concreto com AMN e o coeficiente de *Poisson* no corpo de prova de concreto com AMVT em relação à resistência estimada não existe correlação.

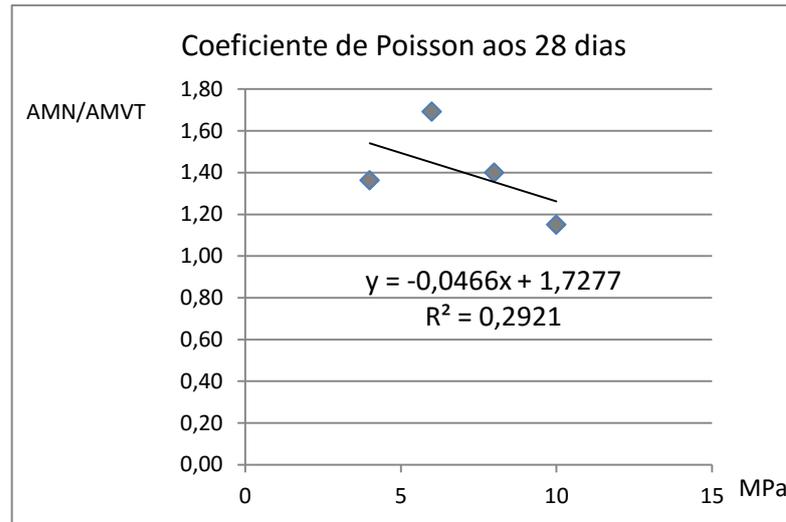


Figura 5.31: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT no Coeficiente de Poisson em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.

5.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Examinando-se os 24 corpos de prova foi identificado no coeficiente de variação o valor mínimo de 0,43% e máximo de 9,79%, sem que houvesse resultado além de 25%. De acordo com o Teste de *Grubbs* o valor mais alto foi de 1,15, o mesmo valor crítico determinado para cada três ensaios.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.7.

Tabela **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.5.7:** Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de absorção de água por imersão.

Amostras			28 dias
			%
<i>fc = 4 MPa</i>	natural	CN	13,59
			13,30
			13,76
		Média	13,55
		DESVP	0,23
	CV%	1,72	
	vidro	CV	15,29
			13,28
			12,73
		Média	13,77
DESVP		1,35	
CV%	9,79		
<i>fc = 6 MPa</i>	natural	CN	13,19
			12,45
			11,79
		Média	12,48
		DESVP	0,70
	CV%	5,61	
	vidro	CV	12,55
			13,06
			12,45
		Média	12,69
DESVP		0,33	
CV%	2,58		
<i>fc = 8 MPa</i>	natural	CN	10,28
			10,56
			10,95
		Média	10,60
		DESVP	0,34
	CV%	3,18	
	vidro	CV	10,67
			10,75
			10,75
		Média	10,72
DESVP		0,05	
CV%	0,43		
<i>fc = 10 MPa</i>	natural	CN	9,00
			10,15
			9,44
		Média	9,53
		DESVP	0,58
	CV%	6,09	
	vidro	CV	9,79
			10,45
			10,72
		Média	10,32
DESVP		0,48	
CV%	4,64		

No diagrama de dispersão (Figura 5.32) se analisa a correlação entre os valores das absorções de água por imersão obtidos nos ensaios dos corpos de prova de concreto com relação às resistências de referência.

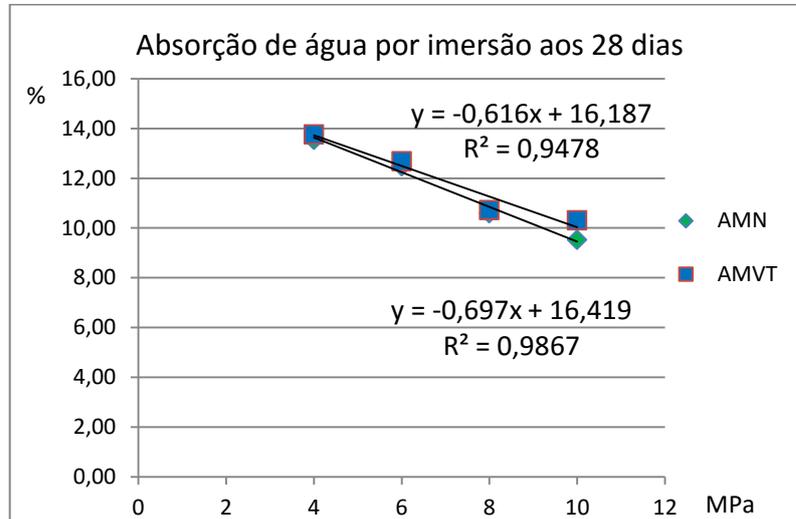


Figura 5.32: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a absorção de água por imersão nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a absorção de água por imersão dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a absorção de água por imersão dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 61% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT e de 69% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN, indica que a absorção de água por imersão do concreto com AMN é cerca de 8% menor que a absorção de água por imersão do corpo de prova de concreto com AMVT.

A Figura 5.33 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é um pouco fraca, parece indicar que na razão entre a absorção de água por imersão no corpo de prova de concreto com AMN e a absorção de água por imersão no corpo de prova de concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

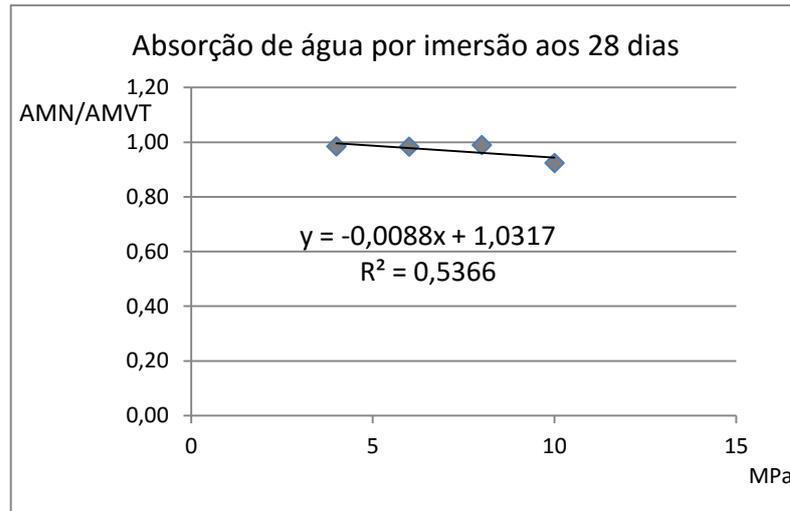


Figura 5.33: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na absorção de água por imersão em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndrico com AMN e AMVT aos 28 dias.

5.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR SUCÇÃO CAPILAR

Nesses ensaios compostos por 24 corpos de prova, o coeficiente de variação apresentou o valor mínimo de 0,52% e o máximo de 15,56%. Aplicado o Teste de *Grubbs*, onde para ensaios com três amostras o valor crítico é de 1,15, o valor mais alto observado foi de 1,14.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de absorção de água por sucção capilar.

Amostras			28 dias
			<i>gr/cm²</i>
<i>fc = 4 MPa</i>	natural	CN	3,52
			3,69
			3,56
		Média	3,59
		DESVP	0,09
	CV%	2,48	
	vidro	CV	3,47
			3,98
			3,63
		Média	3,69
DESVP		0,26	
CV%	7,06		
<i>fc = 6 MPa</i>	natural	CN	3,62
			3,44
			2,67
		Média	3,24
		DESVP	0,50
	CV%	15,56	
	vidro	CV	3,05
			3,82
			3,69
		Média	3,52
DESVP		0,41	
CV%	11,71		
<i>fc = 8 MPa</i>	natural	CN	2,93
			2,91
			2,90
		Média	2,91
		DESVP	0,02
	CV%	0,52	
	vidro	CV	2,93
			2,98
			3,18
		Média	3,03
DESVP		0,13	
CV%	4,37		
<i>fc = 10 MPa</i>	natural	CN	2,55
			2,67
			2,29
		Média	2,50
		DESVP	0,19
	CV%	7,76	
	vidro	CV	2,55
			3,31
			2,93
		Média	2,93
DESVP		0,38	
CV%	12,97		

No diagrama de dispersão (Figura 5.34) se analisa a correlação entre os valores das absorções de água por sucção capilar obtidas nos ensaios dos corpos de prova de concreto com relação às resistências de referência.

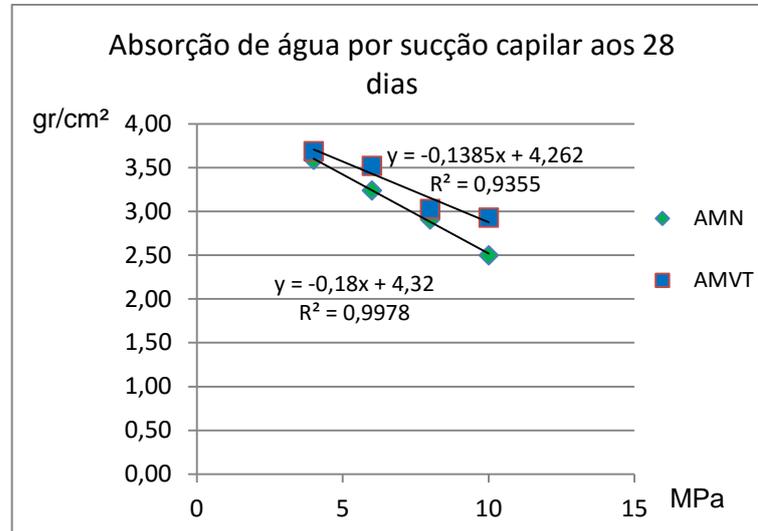


Figura 5.34: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a absorção de água por sucção capilar nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a absorção de água por sucção capilar dos corpos de prova de concreto fabricado com AMN e a absorção de água por sucção capilar dos corpos de prova de concreto fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 13% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMVT e de 18% para o corpo de prova de concreto fabricado com AMN, indica que a absorção de água por sucção capilar do concreto com AMN é cerca de 5% menor que a absorção de água por sucção capilar do corpo de prova de concreto com AMVT.

A Figura 5.35 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é um pouco fraca, parece indicar que na razão entre a absorção de água por sucção capilar no corpo de prova de concreto com AMN e a absorção de água por sucção capilar no corpo de prova de concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

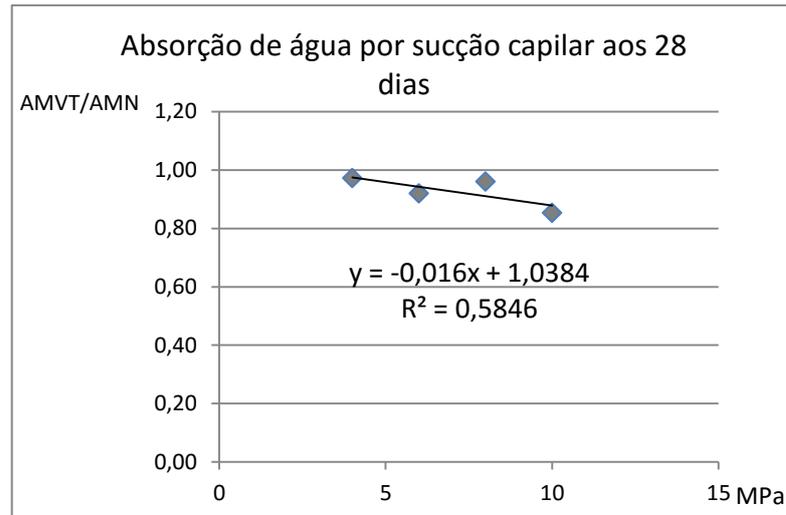


Figura 5.35: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT na absorção de água por sucção capilar em relação à resistência estimada nos corpos de prova cilíndricos com AMN e AMVT com 28 dias.

METHA e MONTEIRO (2008) enfatizam que a taxa de absorção de água por capilaridade é uma boa medida da qualidade de um concreto, e de sua durabilidade potencial quando exposto a ambientes agressivos.

SOBRAL (1991) relata que para pastas de mesmo grau de hidratação, a permeabilidade é tanto mais baixa quanto maior o seu teor de cimento, isto é, quanto menor o fator água/cimento.

5.10 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

Nesses ensaios foram utilizados 24 corpos de prova o coeficiente de variação comprovou os valores mínimo de 0,43% e o máximo de 8,42%. Segundo o Teste de *Grubbs* o valor mais alto encontrado foi de 1,15, o mesmo observado no valor crítico de ensaios com três amostras.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Amostras			64 dias
			<i>m/seg.</i>
<i>fc = 4 MPa</i>	natural	CN	2680
			2643
			2699
		Média	2674
		DESVP	28,48
	CV%	1,06	
	vidro	CV	3120
			3120
			2840
		Média	3027
DESVP		161,66	
CV%	5,34		
<i>fc = 6 MPa</i>	natural	CN	2950
			2950
			2928
		Média	2943
		DESVP	12,70
	CV%	0,43	
	vidro	CV	3199
			3493
			3558
		Média	3417
DESVP		191,29	
CV%	5,60		
<i>fc = 8 MPa</i>	natural	CN	4008
			3493
			3967
		Média	3823
		DESVP	286,23
	CV%	7,49	
	vidro	CV	3493
			3399
			3967
		Média	3620
DESVP		304,45	
CV%	8,41		
<i>fc = 10 MPa</i>	natural	CN	4008
			4095
			3493
		Média	3865
		DESVP	325,37
	CV%	8,42	
	vidro	CV	3626
			3525
			3399
		Média	3517
DESVP		113,73	
CV%	3,23		

No diagrama de dispersão (Figura 5.36) se analisa a correlação entre os valores das velocidades de propagação de ondas ultrassônicas obtidas nos ensaios dos blocos de concreto com relação às resistências de referência.

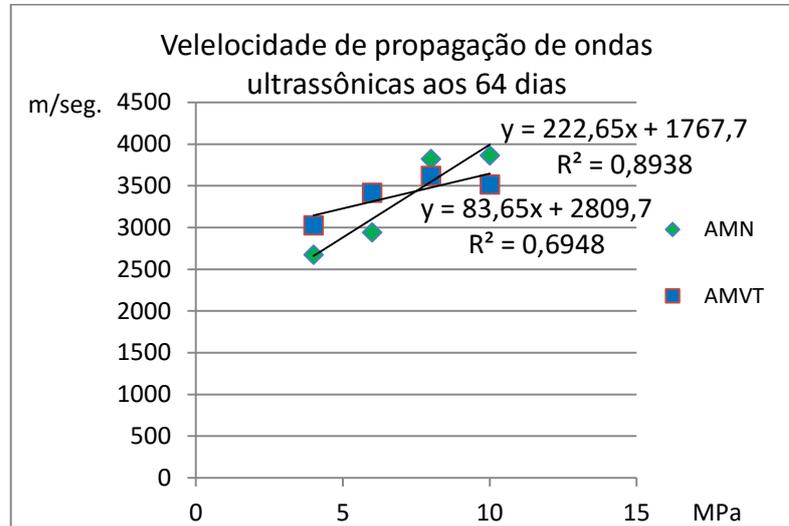


Figura 5.36: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a velocidade de propagação de ondas ultrassônica nos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas do bloco de concreto fabricado com AMN e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas do bloco fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 83,65% para o bloco de concreto fabricado com AMN e de 222,65% para o bloco de concreto fabricado com AMVT, parece indicar que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas do concreto com AMVT é maior para as resistências de 4 Mpa e 6 Mpa em relação ao concreto com AMN e menor em relação as resistências estimadas de 8 Mpa e 10 Mpa em relação ao concreto com AMN.

A Figura 5.37 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é razoavelmente forte, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada existe uma correlação.

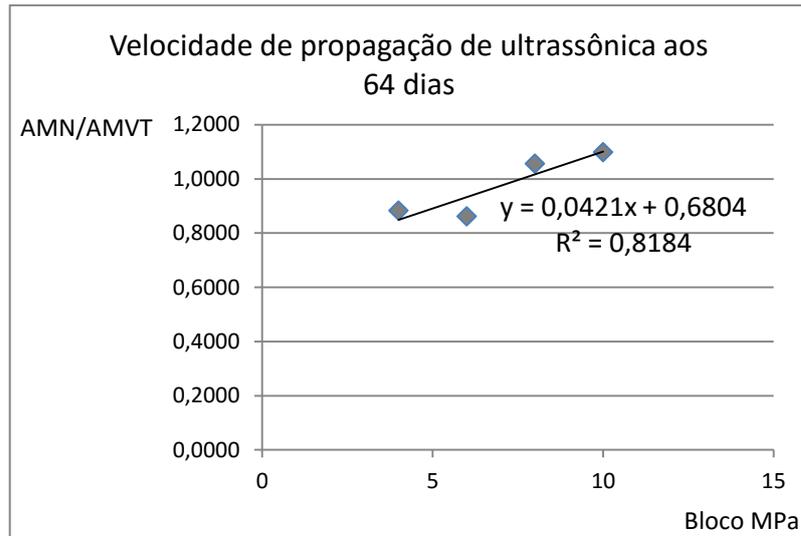


Figura 5.37: Curva de correlação e coeficiente linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT para a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em relação aos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias

Os ensaios foram executados no Laboratório de Ensaios Físicos do IPRJ – Instituto Politécnico do Rio de Janeiro.

CÂNOVAS (1988) salienta que se um concreto vai endurecendo suas resistências vão aumentando, assim como as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas. Ressalta ainda que existe entre a velocidade de propagação e a resistência à compressão uma relação que não é linear, mas que se distancia da reta, tendendo para uma parábola mais ou menos acentuada, de acordo com certas características do concreto.

CÂNOVAS (1988) propõem o índice de qualidade do concreto com agregado graúdo (diâmetro de 19,25 a 32 mm) conformemostra a 5.10.

Tabela 5.10: Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas x qualidade do concreto

Velocidade de Propagação Linear (m/s)	Qualidade do concreto armado
>4.500	Excelente
3.600 a 4.000	Bom
3.000 a 3.600	Aceitável
2.100 a 3.000	Má
< 2.100	Muito má

O concreto ensaiado usa agregado miúdo e pedrisco não podendo ser correlacionado diretamente com os dados da Tabela 5.10.

No concreto com AMN foi constatado um crescimento da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, para 4 Mpa e 6 Mpa abaixo de 3000 m/s, caracterizando um concreto de má qualidade, e para 8 Mpa e 10 Mpa acima de 3600 m/s, indicando um concreto bom. O concreto com AMVT apresentou um crescimento da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas para 4 Mpa e 6 Mpa acima de 3000 m/s, caracterizando um concreto aceitável, para 8 Mpa acima de 3600 m/s, indicando um concreto bom e para 10 Mpa abaixo de 3600 m/s, indicando um concreto aceitável.

Comparando-se o aumento das velocidades de propagação de ondas ultrassônicas nos concretos com AMN e AMVT, foi observado que para as resistências de 4 e 6 Mpa as velocidades são maiores no AMVT que no AMN. Para as resistências de 8 e 10 Mpa as velocidades são menores no AMVT que no AMN.

CÂNOVAS (1988) salienta a dificuldade de se obter uma relação entre velocidade de propagação e resistência, em se tratando de concretos diferentes.

5.11 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM BLOCO

O coeficiente de variação resultante dos ensaios com 24 corpos de prova, apresentou o valor mínimo de 1,45% e o máximo de 9,50%. Aplicado o Teste de *Grubbs* obteve-se o valor mais alto de 1,13, de acordo com a determinação de que, nos ensaios com três amostras, o valor crítico é de 1,15. Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial dos blocos de concreto.

Amostras			28 dias
			f_{c28} (MPa)
$f_c = 4 \text{ MPa}$	natural	CN	4,80
			4,70
			4,60
		Média	4,70
		DESVP	0,10
	CV%	2,13	
	vidro	CV	4,50
			4,30
			4,70
		Média	4,50
DESVP		0,20	
CV%	4,44		
$f_c = 6 \text{ MPa}$	natural	CN	6,20
			7,50
			7,00
		Média	6,90
		DESVP	0,66
	CV%	9,50	
	vidro	CV	6,10
			6,30
			5,60
		Média	6,00
DESVP		0,36	
CV%	6,01		
$f_c = 8 \text{ MPa}$	natural	CN	9,10
			9,05
			9,30
		Média	9,15
		DESVP	0,13
	CV%	1,45	
	vidro	CV	8,90
			8,70
			8,50
		Média	8,70
DESVP		0,20	
CV%	2,30		
$f_c = 10 \text{ MPa}$	natural	CN	11,78
			11,13
			11,56
		Média	11,49
		DESVP	0,33
	CV%	2,88	
	vidro	CV	9,80
			11,10
			10,50
		Média	10,47
DESVP		0,65	
CV%	6,22		

No diagrama de dispersão (Figura 5.38) se analisa a correlação entre os valores de resistência obtidos nos ensaios dos blocos de concreto com relação às resistências de referência.

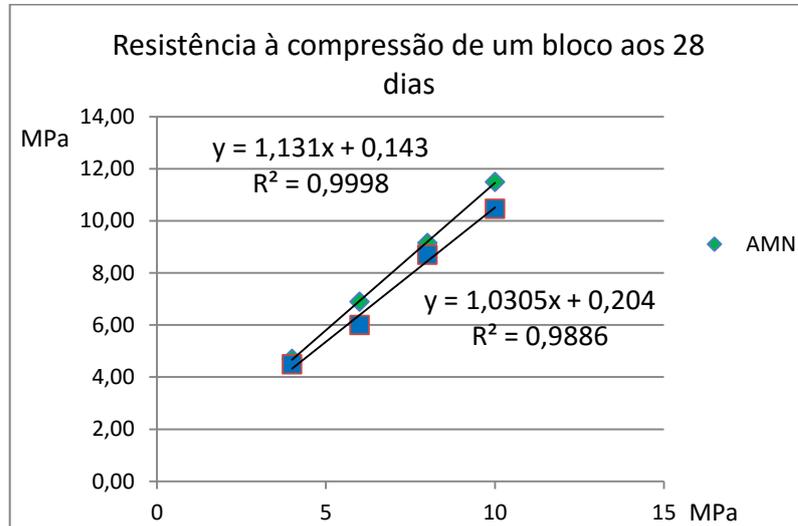


Figura 5.38: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência à compressão axial em blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência do bloco de concreto fabricado com AMN e a resistência do bloco fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 13% para o bloco de concreto fabricado com AMN e de 3% para o bloco de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do concreto com AMVT é cerca de 10% menor que a resistência do bloco de concreto com AMN.

No diagrama de dispersão da Figura 5.39 se analisa a correlação entre os valores de resistência obtidos nos ensaios dos blocos de concreto com AMN e AMVT. O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência do bloco de concreto fabricado com AMN e a resistência do bloco fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão, que é da ordem de 91%, indica que a resistência do concreto com AMVT é cerca de 9% menor que a resistência do concreto com AMN.

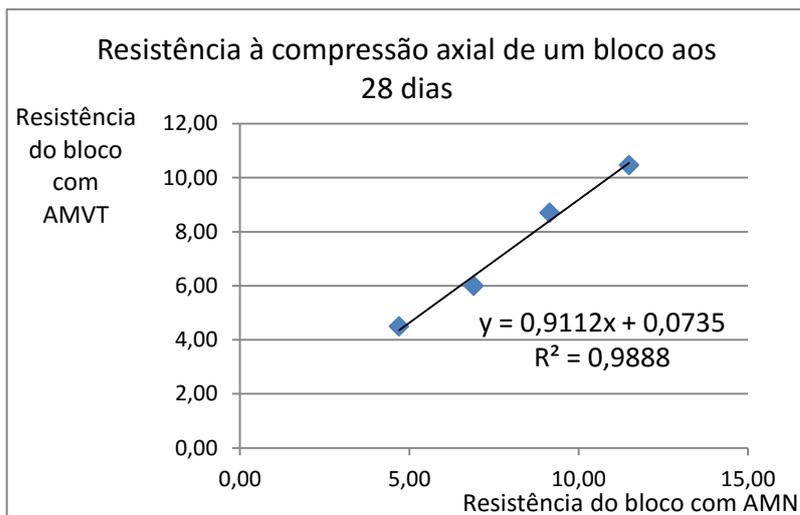


Figura 5.39: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência à compressão axial dos blocos de concreto com AMN e AMVT aos 64 dias.

A Figura 5.40 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada é muito baixo, parece indicar que na razão entre a resistência do concreto com AMN e a resistência do concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

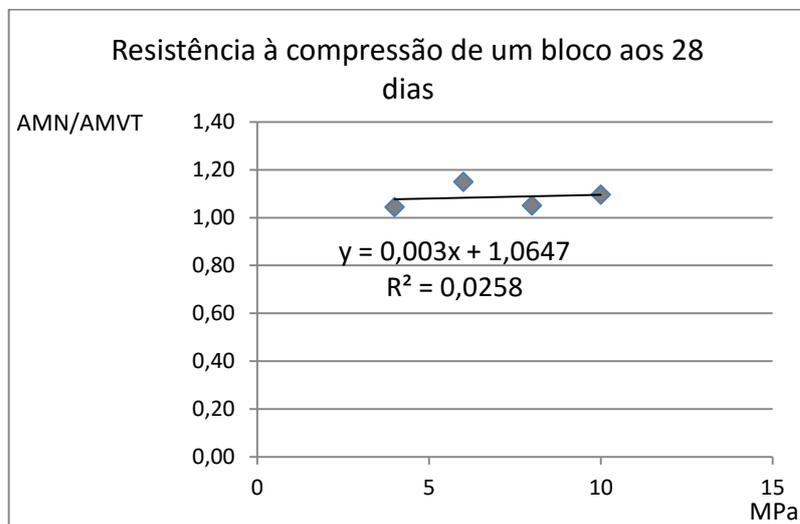


Figura 5.40: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT para a resistência à compressão axial em blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias.

5.12 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMA COM TRÊS BLOCOS

Com a finalidade de comprovar a resistência à compressão do prisma com três blocos foram empregados 24 corpos de prova. O resultado do coeficiente de

variação aferido teve o valor mínimo de 3,31% e o máximo de 16,31%. O valor mais alto com a aplicação do Teste de *Grubbs* foi de 1,14, sendo que para ensaios com três amostras o valor crítico é de 1,15.

Os resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação estão na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Resultados individuais, médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos ensaios de resistência à compressão axial dos prismas com três blocos de concreto.

Amostras			28 dias
			f_{c28} (MPa)
$f_c = 4 \text{ MPa}$	natural	CN	3,68
			4,20
			4,83
		Média	4,24
		DESVP	0,58
	CV%	13,59	
	vidro	CV	3,49
			4,23
			3,63
		Média	3,78
DESVP		0,39	
CV%	10,39		
$f_c = 6 \text{ MPa}$	natural	CN	6,30
			6,20
			6,65
		Média	6,38
		DESVP	0,24
	CV%	3,70	
	vidro	CV	5,23
			5,77
			5,64
		Média	5,55
DESVP		0,28	
CV%	5,08		
$f_c = 8 \text{ MPa}$	natural	CN	9,35
			7,45
			9,91
		Média	8,90
		DESVP	1,29
	CV%	14,48	
	vidro	CV	6,89
			6,76
			8,95
		Média	7,53
DESVP		1,23	
CV%	16,31		
$f_c = 10 \text{ MPa}$	natural	CN	8,97
			9,54
			9,07
		Média	9,19
		DESVP	0,30
	CV%	3,31	
	vidro	CV	8,69
			7,75
			7,33
		Média	7,92
DESVP		0,70	
CV%	8,79		

No diagrama de dispersão (Figura 5.41) se analisa a correlação entre os valores de resistência obtidos nos ensaios de compressão nos prismas com três blocos de concreto com relação às resistências de referência.

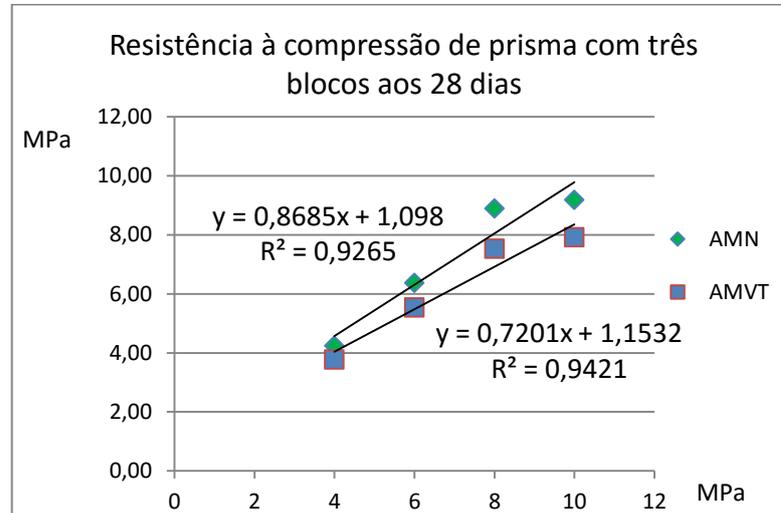


Figura 5.41: Curvas de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a resistência à compressão axial em prisma com três blocos de concreto com AMN e AMVT aos 28 dias.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson* indica um forte grau de correlação entre a resistência do prisma com três blocos de concreto fabricado com AMN e a resistência do prisma com três blocos fabricado com AMVT. A inclinação da reta de regressão que é da ordem de 86% para o prisma de concreto fabricado com AMN e de 72% para o prisma de concreto fabricado com AMVT, indica que a resistência do prisma de concreto com AMVT, é cerca de 14% menor que a resistência do prisma de concreto com AMN.

A Figura 5.42 mostra que o coeficiente de correlação para a curva de ajuste da razão AMN/AMVT com relação à resistência estimada apresenta uma correlação um pouco fraca, parece indicar que na razão entre a resistência do prisma de concreto com AMN e a resistência do prisma de concreto com AMVT em relação a resistência estimada não existe correlação.

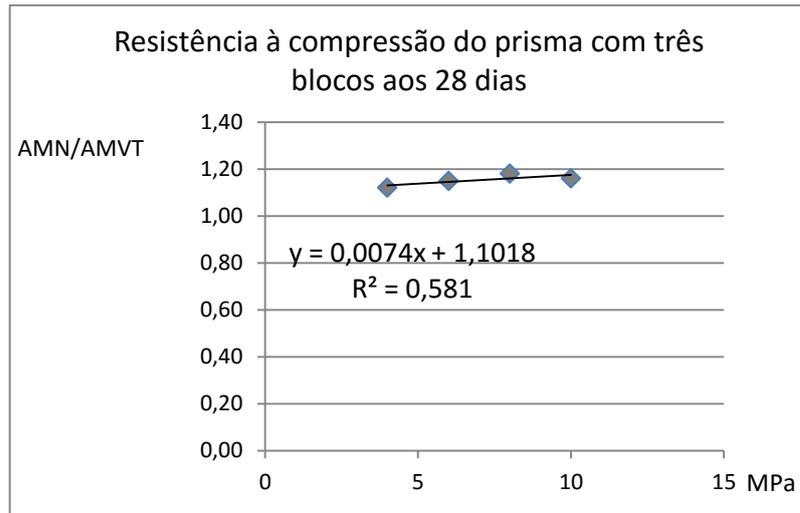


Figura 5.42: Curva de correlação e coeficiente de correlação linear de *Pearson* para a razão AMN/AMVT e a resistência estimada na resistência à compressão axial nos prismas com três blocos de concreto com AMN e AMVT.

5.13 ENSAIOS COMPLEMENTARES

Após os resultados ficou a suspeita de contaminação do vidro triturado por resíduos de polivinilbutiral, sinalizando a necessidade da busca por maiores informações sobre essa possibilidade.

Nesse sentido foi analisada uma amostra de vidro triturado sendo queimada para se observar a presença de material plástico. Nada foi constatado, a não ser a retirada da umidade, pois se houvesse material plástico em quantidade razoável, haveria aglomeração com formação de “bolotas”.

Foram tomadas então duas amostras, uma com o vidro queimado e outra com o vidro sem a queima para o ensaio por fluorescência de raio X (XRF). Um analisador portátil da AMPTEK com tubo de Rx com anodo de Au e detector S_i modelo 123, (Figura 5.43) foi utilizado com a tensão de 15 keV e corrente de 15 micro A. Não houve diferença significativa nos espectros observados que revelaram a presença de K (potássio) e I (iodo). Talvez a presença desses elementos químicos possa estar ligada, de alguma forma, à fragilização do concreto por reação química, mas para a certificação dessas evidências seriam necessários novos estudos, o que foge ao escopo deste trabalho.



Figura 5.43: Analisador AMPTEK MODELO 123

5.14 FOTOS COM MICROSCÓPIO

O anexo E apresenta fotos tiradas com um microscópio digital ProScope HR, modelo OS-HR2-BASE, (Figura 5.44), fabricado pela *BodelinTechonologies*.



Figura 5.44: Microscópio digital *ProScope HR*
Modelo OS – HR2 – BASE.

O anexo F apresenta fotos tiradas com um microscópio USB digital marca VEHO, modelo VMS-004 com ampliação de 20 X (Figura 5.45).



Figura 5.45: Microscópio digital VEHO
Modelo VMS-004.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

Os ensaios de compressão axial de blocos apresentaram resultados superiores às resistências estimadas, tanto para blocos com AMN como com AMVT, ainda que os blocos produzidos com AMVT tenham apresentado resultados inferiores aos com AMN. Verificando-se assim a viabilidade dos blocos AMVT, com a vantagem da utilização de material reciclado.

Quanto aos ensaios de compressão axial em prismas com três blocos os resultados obtidos com AMVT foram inferiores aos obtidos com AMN, e ficaram abaixo da resistência estimada, o que pode ser atribuído à maior suscetibilidade do prisma à instabilidade pois o bloco intermediário não tem a influência do atrito com as placas da prensa.

Nos ensaios de compressão axial em corpos de prova cilíndricos, todos os resultados ficaram abaixo da resistência estimada. Ressalte-se que o adensamento dos blocos foi mecânico, os corpos de prova cilíndricos foram adensados manualmente. O adensamento por vibro-prensagem gera uma energia de compactação maior que o adensamento manual, o que resulta em corpos de prova mais densos e, mais resistentes. Observou-se também que os corpos de prova produzidos com AMVT demandam quantidade menor de água, posto que o vidro é menos poroso que os grãos de pó de pedra (AMN). No estudo o mesmo fator de água cimento foi aplicado na confecção de ambos os tipos de concreto, a menor absorção de água em AMVT resultou em parte da água de amassamento ficar livre na mistura. Essa água retida na pasta de cimento induziu ao decréscimo da resistência à compressão axial das misturas com AMVT em relação ao concreto com AMN.

Nos ensaios de compressão diametral em corpos de prova cilíndricos observou-se a relação entre as resistências à tração por compressão diametral e a resistência axial para as quatro resistências ensaiadas: no concreto com AMN da ordem de 11%, e no concreto com AMVT, da ordem de 12% a 15%. Os grãos de AMN são menos regulares quando comparados aos grãos de AMVT, o que melhora o intertravamento das partículas.

Os resultados de ensaios de retração hidráulica em corpos de prova com AMN e AMVT foram muito próximos, com ligeiro aumento nos concretos com AMVT, o que é compreensível, pois o vidro (AMVT) não absorve água como o pó de pedra (AMN), fazendo com que parte da água de amassamento fique livre na mistura. Essa água fica retida na pasta de cimento o que resulta no referido aumento de retração hidráulica em relação ao concreto com AMN.

No que concerne aos ensaios de resistência à tração por flexão, a substituição do AMN por AMVT altera a resistência de um valor constante quanto à variação das resistências estimadas, o que, também ocorreu com a resistência à compressão axial e a resistência à compressão diametral.

Nos ensaios do módulo de elasticidade observou-se que os concretos com AMN apresentam maior módulo de elasticidade que os concretos com AMVT, o que está em conformidade com a resistência à compressão axial, parâmetro significativo no módulo de elasticidade, também superior nos concretos com AMN.

O coeficiente de *Poisson* dos concretos com AMN apresentam maiores valores mais próximos de 0,20 do que os concretos com AMVT, com valores abaixo de 0,20.

Na análise de ensaios de absorção por imersão e de absorção por capilaridade constatou-se tanto no concreto com AMN, quanto no concreto com AMVT, a redução na absorção de água em função do aumento da resistência estimada. Os corpos de prova com maior resistência geralmente têm densidade maior que os concretos menos resistentes. A maior densidade está associada a material menos poroso, o que resulta em baixa absorção por imersão e baixa absorção por sucção capilar. Observaram-se também pequenas diferenças na comparação das absorções com AMN e AMVT na mesma resistência estimada, sempre um pouco maiores nos concretos com AMVT. Considerando-se a maior disponibilidade de água no concreto com AMVT, já que o fator água e cimento foi o mesmo para os dois tipos de concreto analisados, tem-se o concreto com AMN com maior quantidade de material poroso, o que permite maior absorção.

Nos ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em blocos de concreto aos 64 dias observou-se nos dois tipos de concreto analisados, o crescimento da velocidade de propagação em função do aumento da resistência

estimada. Para as resistências estimadas de 4 Mpa e 6 Mpa a velocidade de propagação foi maior no concreto com AMVT; já nas resistências estimadas de 8 Mpa e 10 Mpa as velocidades de propagação foram maiores no concreto com AMN. Os resultados corroboram o conhecimento de que, salvo em se tratando de um tipo determinado de concreto, é muito difícil estabelecer-se uma relação entre velocidade de propagação e resistências.

A análise experimental possibilitou assim adquirir informações que permitem concluir que: é plausível a obtenção de concreto para blocos a partir da utilização do vidro triturado em substituição ao agregado miúdo natural.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugestões para trabalhos futuros:

- a) execução de maiores quantidades de traços de modo a se obter um resultado mais representativo com o AMVT;
- b) utilização de outros tipos de vidros em ensaios com AMVT;
- c) utilização do AMVT em argamassas de assentamento e revestimento;
- d) utilização do AMVT em concretos estruturais;
- e) utilização de concreto com AMVT em outras funções que não sejam somente para uso em blocos;
- f) repetição dos ensaios com outros tipos de cimentos;
- g) avaliação dos ataques químicos nos concretos com AMVT;
- h) comportamento dos blocos de concreto com AMVT em alvenarias sujeitas a temperatura abaixo de zero;
- i) comportamento dos blocos de concreto com AMVT em alvenarias submersas;
- j) comportamento dos blocos de concreto com AMVT em alvenarias sujeitas a exposição ao fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E SÍTIOS DA INTERNET

7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

ALBUQUERQUE, A. Construções Cíveis. 5ª 141d. São Paulo : Editora Empresa Gráfica da Revista dos Tribunais, 1957.

ALVES, J.D. Manual de Tecnologia do Concreto. Goiânia : Editora UFG, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial, Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria, Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7222 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 8802 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de onda ultrassônica, Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade, Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 12118 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 12142 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos, Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – 2004.

_____.NBR 15961-1 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 1 : Projeto, Rio de Janeiro, 2011.

_____.NBR 15961-2 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 2 : Execução e controle de obras, Rio de Janeiro, 2011.

_____.NBR NM 26 – Agregados – Amostragem, Rio de Janeiro, 2009.

_____.NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, Rio de Janeiro, 2001.

_____.NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água, Rio de Janeiro, 2001.

_____.NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

_____.NBR NM 52 – Agregados miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR NM 67:96 – Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1996.

_____.NM 131:97 – Concreto endurecido – Determinação da retração hidráulica ou higrométrica do concreto, Rio de Janeiro, 1998.

_____.NM 248:97 – Concreto endurecido – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.

BARROS, C. Apostila de vidros. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Campus Pelotas, 2010

BAUER, F. L. A. Materiais de Construção. 5ª 142d. RJ: Editora Livros Técnicos e Científicos, vol. 1 e 2, 1995.

BRUNAUER, S.; COPELAND, L.E. Revista Scientific American, USA,1964

CÁNOVAS, M.F. Patologia e Terapia do concreto armado. São Paulo: Editora Pini, 1988.

CARASEK, H. Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Universidade de São Paulo.

CARASEK, H. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2ª 142d. São Paulo: Editor Geraldo C. Isaias,2010.

COURA C.V.G. Análise experimental sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto: 2009. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niteroi.

KITAMURA, S. Estudo experimental sobre a influência da substituição do agregado miúdo natural por granito triturado, nas propriedades do concreto de cimento *portland*. 2011. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói.

L'HERMITE R. Ao pé do muro. Tradução: L.A. Falcão Bauer. Distrito Federal : Editora Minas Gráfica – Senai, 1967.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 1ª 143d. São Paulo: Editora Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Editora Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 1ª edição. São Paulo : Editora Pini. 1982.

PEYVANDI, A.; SOROUSHIAN, P.; NASSAR, R.U.D. *Recycled Glass Concrete*, Revista *Concrete International*, jan. de 2013.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento *portland*. 5ª 143d. Porto Alegre: Editora Globo, 1978.

PETRUCCI, E. G. R. Materiais de Construção. 12ª ed. São Paulo: Editora Globo, 2007.

RECENA, F.A.P. Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland. 3ª edição. Porto Alegre: Editora PUCRS, 2011.

ROMANO, C. A. Apostila de tecnologia do concreto. Paraná: Editora do Centro Federal de Educação Tecnológica, 2004.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, 2007.

RÜSCH, H. Concreto Armado e Protendido. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1981.

SÁNCHEZ, E. Nova Normalização Brasileiras para a Alvenaria Estrutural. Rio de Janeiro : Editora Interciência, 2013.

SHACKELFORD, J. F. Ciência dos Materiais. São Paulo. 6ª edição. Editora Person, 2008

SILVA, A. J. C.; BARBOSA, R.; MOTA, J. M. F.; CARVALHO, J. R. Concreto produzido com parte de resíduo de vidro na ilha de Fernando de Noronha – PE. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2011, Florianópolis.

SOBRAL, H.S. Propriedades do concreto fresco, Associação Brasileira de Cimento *Portland*. 4ed. São Paulo, 1990.

VARGAS, I. M.; WIEBECK, H. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 2, 137 - 144, São Paulo, 2007.

7.2 SÍTIOS DA INTERNET

ANEPAC/SINDIPEDRAS – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil – São Paulo. Disponível em:

<http://www.cimentoitambe.com.br/mineradores-de-areia-tentam-reinventar-mercado/>. Acesso em junho de 2014.

Areia. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Areia>. Acesso em setembro de 2014.

Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto (Abcic). Disponível em: www.abcic.org.br/Concrete_show_2008/palestras/Ines_Battagin.pdf. Acesso em fevereiro de 2014.

CEMPRE – Compromisso Empresarial Para a Reciclagem, 2008. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/>. Acesso em março de 2014.

COELHO (2007). Disponível em: http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/Projeto_Cezar/cap%206%20vidro.pdf. Acesso em maio de 2014.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf. Acesso em dezembro de 2014.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em outubro de 2013.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/BalancoMineral2001/agregados.pdf>. Acesso em dezembro de 2014.

Grão de Areia Ampliado. Disponível em: <http://igce.rc.unesp.br/#!/departamentos/geologia-aplicada/laboratorios/labesem/>. Acesso: em setembro de 2014

GTglass eco. Disponível em: www.gtglass.com.br.

História do vidro. Disponível em: http://www.achetudoeregiao.com.br/lixo_recicle/vidro_sua_historia.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

IME – Apresentação de Materiais de Construção II Agregados. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/conc03.pdf>. Acesso em dezembro de 2014.

Materiais de Construção. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/conc03.pdf>. Acesso em dezembro de 2014.

Polivinil butiral. Disponível em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4502-o-que-e-polivinil-butiral/>. Acesso em março de 2014.

Porosidade dos grãos de AMN. Disponível em: <http://i0.statig.com.br/bancodeimagens/0w/tl/ql/0wtlqluhx3sgbcvloguhy9lke.jpg>. Acesso em setembro de 2014.

Propriedades físicas e mecânicas do vidro. Disponível em: <http://www.setorvidreiro.com.br/o-que-procura/194/propriedades+fisicas+e+mecanicas+do+vidro>. Acesso em: maio de 2014.

Reciclagem de vidro. Disponível em :<http://www.massfix.com.br/>. Acesso em maio de 2014.

Reciclagem/Projeto. Disponível em : http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Livro_Reciclagem/Projeto_Cezar/cap%206%20vidro.pdf. Acesso em maio de 2014.

Vidros: o mercado para reciclagem. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php. Acesso em novembro de 2013.

Vidro Laminado com PVB. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/viminas/vidro-laminado-com-pvb>. Acesso em maio de 2014.

ANEXOS

AnexoA – Curva granulométrica do pó de pedra.

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	REF.:
	FL.: 01/01

ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO**DADOS DO CONTRATANTE**

NOME: Armando Preizal Ferreira

OBRA: Disertação de mestrado

DADOS DO MATERIAL

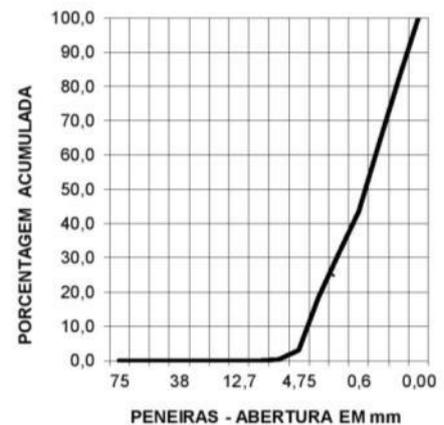
AMOSTRA: Pó de Pedra

PROCEDÊNCIA:

FORNECEDOR: -x-x-x-x-x-x-x-

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248

Peneiras pol.	mm	Peso retido (g)		% Retida			% Acum.
		m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	média	
3	75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3	4,48	4,46	0,45	0,45	0,45	0,45
nº 4	4,75	21,80	29,10	2,18	2,91	2,55	2,99
nº 8	2,36	155,72	154,90	15,57	15,49	15,53	18,52
nº 16	1,18	128,17	129,00	12,82	12,90	12,86	31,38
nº 30	0,6	120,44	124,34	12,04	12,43	12,24	43,62
nº 50	0,3	191,10	196,00	19,11	19,60	19,36	62,98
nº 100	0,15	189,95	190,40	19,00	19,04	19,02	81,99
Fundo	0,00	188,34	171,80	18,83	17,18	18,01	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Zona Granulométrica - NBR 7211:	*****	OBSERVAÇÃO:
Massa Específica Real - NBR NM 53 (kg/dm ³):	2,66	
Massa Específica Aparente Seca - NBR NM 53 (kg/dm ³):	1,51	
Módulo de Finura - NBR 7211:	2,41	
Torrões de Argila - NBR 7218 (%):	*****	
Material Pulverulento - NBR NM 46 (%):	*****	
Abrasão "Los Angeles" - NBR NM 51	*****	
Dimensão Máxima Característica - NBR 7211 (mm):	4,80	
Coefficiente de vazios (%):	*****	

RESPONSÁVEL:	DATA: 29/08/2014
Prof. Cláudia Gávio Coura	

AnexoB – Curva granulométrica do vidro triturado.

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	REF.:
	FL.: 01/01

ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO**DADOS DO CONTRATANTE**

NOME: Armando Preizal Ferreira
OBRA: Disertação de mestrado

DADOS DO MATERIAL

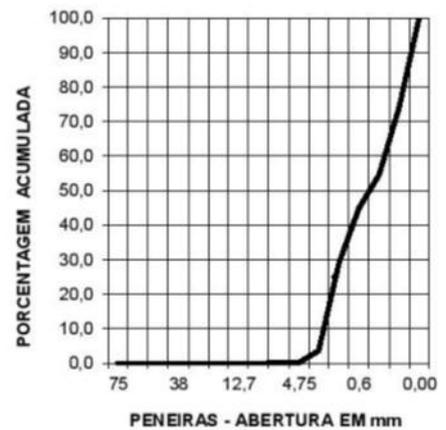
AMOSTRA: Resíduo de vidro triturado

PROCEDÊNCIA:

FORNECEDOR: -x-x-x-x-x-x-x-

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248

Peneiras	pol.	mm	Peso retido (g)		% Retida			% Acum.
			m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	média	
3	75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3	0,94	0,31	0,09	0,03	0,06	0,06	0,06
nº 4	4,75	0,43	1,52	0,04	0,15	0,10	0,16	0,16
nº 8	2,36	32,40	35,26	3,24	3,53	3,38	3,54	3,54
nº 16	1,18	258,41	254,46	25,84	25,45	25,64	29,19	29,19
nº 30	0,6	160,92	156,00	16,09	15,60	15,85	45,03	45,03
nº 50	0,3	95,16	94,68	9,52	9,47	9,49	54,52	54,52
nº 100	0,15	193,81	196,67	19,38	19,67	19,52	74,05	74,05
Fundo	0,00	257,93	261,10	25,79	26,11	25,95	100,00	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Zona Granulométrica - NBR 7211:	*****	OBSERVAÇÃO:
Massa Específica Real - NBR NM 53 (kg/dm ³):	2,54	
Massa Específica Aparente Seca - NBR NM 53 (kg/dm ³):	1,35	
Módulo de Finura - NBR 7211:	2,06	
Torrões de Argila - NBR 7218 (%):	*****	
Material Pulverulento - NBR NM 46 (%):	*****	
Abrasão "Los Angeles" - NBR NM 51	*****	
Dimensão Máxima Característica - NBR 7211 (mm):	2,40	
Coeficiente de vazios (%):	*****	

RESPONSÁVEL:

Prof. Cláudia Gávio Coura

DATA: 28/08/2014

AnexoC – Características físicas do cimento CP V ARI PLUS.

ENSAIOS		PERÍODO	16.08.2014	04.09.2014	23.09.2014	11.10.2014	LIMITES NBR5733
			02.09.2014	20.09.2014	09.10.2014	28.10.2014	
ENSAIOS FÍSICOS							
# 400 (%) IT Holcim	Média	2,2	1,8	2,4	2,0		
	Desv. Pad. Nº Amostras	0,47 8	0,28 8	0,62 8	0,43 8		
# 325 (%) NBR 9202	Média						
	Desv. Pad. Nº Amostras						
Blaine (cm ² /g) NBR NM 76	Média	4819	4717	4766	4830	≥ 3000	
	Desv. Pad. Nº Amostras	42 8	63 8	86 8	67 8		
Início Pega (min) NBR NM 65	Média	122	123	122	130	≥ 60	
	Desv. Pad. Nº Amostras	7 8	4 8	8 8	8 8		
Fim Pega (min) NBR NM 65	Média	178	179	176	182	≤ 600	
	Desv. Pad. Nº Amostras	6 8	6 8	9 8	9 8		
Exp. Quente (mm) NBR 11582	Média					≤ 5	
	Desv. Pad. Nº Amostras						
R 1 dia (MPa) NBR 7215	Média	28,8	29,5	29,3	29,0	≥ 14,0	
	Desv. Pad. Nº Amostras	0,72 8	0,75 8	0,81 8	0,83 8		
R 3 dias (MPa) NBR 7215	Média	40,6	40,8	40,6	40,8	≥ 24,0	
	Desv. Pad. Nº Amostras	0,92 8	0,82 8	0,65 8	0,65 7		
R 7 dias (MPa) NBR 7215	Média	45,6	45,4	44,8	45,4	≥ 34,0	
	Desv. Pad. Nº Amostras	0,78 8	0,50 8	0,70 8	0,23 5		
R 28 dias (MPa) NBR 7215	Média	54,5	53,9	53,6			
	Desv. Pad. Nº Amostras	0,69 8	0,75 8	0,47 4			
ANÁLISE QUÍMICA (%)							
PF 1000°C	NBR NM 18	3,57	3,52	3,55	3,52	≤ 4,5	
SiO ₂	NBR 14656	19,26			19,46		
R.I.	NBR NM 15	0,78	0,88	0,86	0,92	≤ 1,0	
Al ₂ O ₃	NBR 14656	4,92			4,83		
Fe ₂ O ₃	NBR 14656	2,98			2,96		
CaO	NBR 14656	63,12			63,31		
MgO	NBR 14656	0,73	0,80	0,72	0,72		
SO ₃	NBR 14656	2,84	2,93	2,91	2,89	≤ 4,5	
CO ₂	NBR NM 20	2,62	2,51	2,70	2,51	≤ 3,0	
K ₂ O	NBR 14656	0,78			0,79		
PF 500°C	IT Holcim	0,68	0,74	0,70	0,70		
C ₃ A (Teórico)	Equação Bogue	7,81	7,76	7,40	7,39		
OBSERVAÇÕES:							
1. IT = Intrusão de Trabalho							
2. Resíduo na peneira #200: ≤ 6,0% (NBR 11579)							
						 Engº Higor de S. Moura Assessor Técnico RJ	
APL0_CP_V_ARI_PLUS_VENDAS.xls		5 novembro, 2014					

AnexoD – Aditivo Basf.



The Chemical Company

RHEOMIX® 610

Aditivo plastificante para artefatos de concreto

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

RHEOMIX® 610 é um aditivo líquido, livre de cloretos, para fabricação de artefatos de concreto (blocos, pavers, etc.) com características de plastificante e redutor de água, que permite maior trabalhabilidade e durabilidade.

RHEOMIX® 610 atende requisitos da NBR 11768 (tipo P) e ASTM C494 (tipo A).

RHEOMIX® 610 é compatível com diversos tipos de cimento portland.

PROPRIEDADES E BENEFÍCIOS

RHEOMIX® 610 apresenta as seguintes propriedades e benefícios:

Estado Fresco	Estado Endurecido
<ul style="list-style-type: none"> - Melhora o acabamento e o deslizamento na desforma; - Reduz o desgaste das fôrmas e moldes pela melhor lubrificação da massa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melhora consideravelmente a textura aparente dos blocos de concreto; - Aumenta a resistência dos blocos de concreto; - Reduz a fissuração; - Reduz a permeabilidade; - Diminui a quebra de blocos durante a fabricação; - Possibilita redução dos custos de produção.

CAMPOS DE APLICAÇÃO

RHEOMIX® 610 é recomendado para uso em:

Concreto seco em geral.

Modo de Utilização / Aplicação

APLICAÇÃO:

RHEOMIX® 610 deve ser adicionado à água de amassamento que será utilizada na mistura dos componentes do concreto, (cimento portland, agregados, etc.). Nunca deve ser adicionado aos componentes secos do concreto.

DOSAGEM

RHEOMIX® 610 deve ser utilizado nas dosagens de 0,1 a 0,3% s.p.c*. Para 50 kg de cimento portland deve-se utilizar de 50 a 150 ml de RHEOMIX® 610.

Estas dosagens são orientativas, sendo imprescindível a realização de testes laboratoriais e/ou de campo. A dosagem ótima de RHEOMIX® 610 pode variar de acordo com o tipo de cimento, quantidade de finos na mistura, fator A/C**, condições de mistura, tipos de agregados, etc.

OBSERVAÇÕES

RHEOMIX® 610 é compatível com outros aditivos utilizados na fabricação de concretos.

Para dosagens fora da faixa recomendada e para mais informações entrar em contato com nosso departamento técnico.

A limpeza dos equipamentos e ferramentas que foram sujos com RHEOMIX® 610 deve ser feita com água abundante.

Anexo D – Aditivo Basf, continuação.



The Chemical Company

DADOS TÉCNICOS

Função	Plastificante		
Base Química	Surfactantes		
Aspecto	Líquido		
Cor	Alaranjado		
Solubilidade com água: Total			
Não contém cloreto de cálcio, intencionalmente adicionado, ou ingredientes a base de cloreto.			
Teste	Método BASF	Especificação	Unidade
Aparência	TM 761B	Líquido alaranjado	Visual
pH (23°C)	TM 112B	10 - 14	-
Densidade (23°C)	TM 578B	1,010 - 1,050	g/cm ³
Sólidos	TM 613B	15 - 19	%
Viscosidade (23°C)	TM 117B	200 - 400	cps

EMBALAGEM E ARMAZENAGEM

Embalagem	RHEOMIX® 610 é fornecido em embalagens de 5,0 kg, 25 kg, 200 kg e caminhão tanque.
Validade	12 meses a partir da data de fabricação, quando respeitados as condições de armazenagem
Armazenagem	Em condições ambientais adequadas e devidamente embalado. Local coberto, fresco, seco, longe de temperaturas extremas ou fontes de calor, nas embalagens originais e lacradas. Armazenar longe do alcance de crianças.

TRANSPORTE E SEGURANÇA

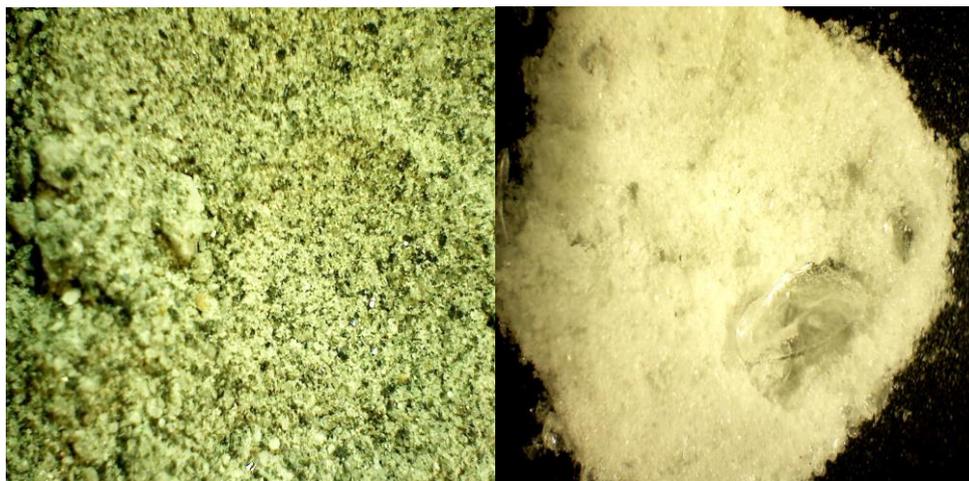
Transporte	RHEOMIX® 610 não é classificado como um produto de transporte perigoso.
Manuseio	Utilizar EPI's adequados: luvas e botas impermeáveis, óculos de segurança química. Evitar contato com a pele e olhos; o contato prolongado com a pele pode causar dermatites. Não beber, comer ou fumar durante o manuseio; lavar as mãos antes de uma pausa ou depois do trabalho
Fogo	Produto não inflamável e não explosivo.
Toxicidade	Produto não considerado tóxico, porém impróprio para o consumo humano.
Segurança	Para mais detalhes, consultar a Ficha de Segurança do produto

Informações Complementares**Legenda:**

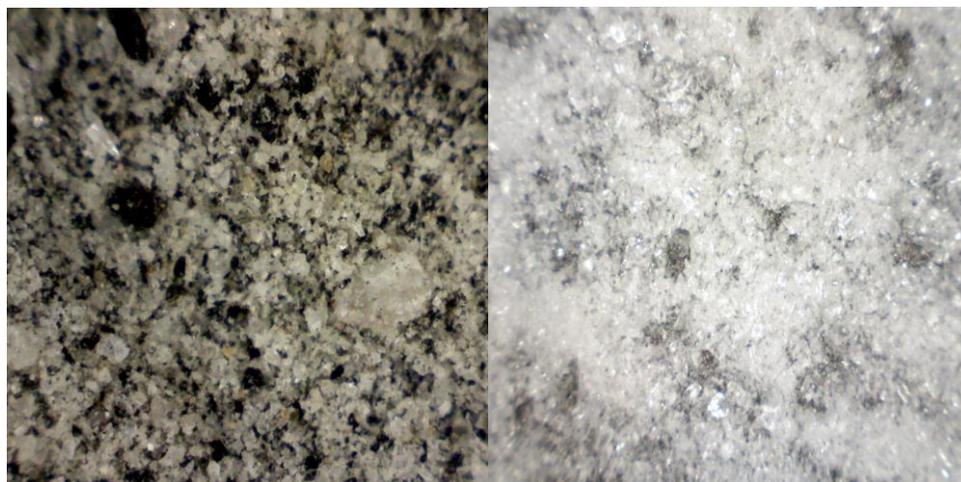
s.p.c* - sobre o peso de cimento.

fator A/C** - relação entre água e cimento.

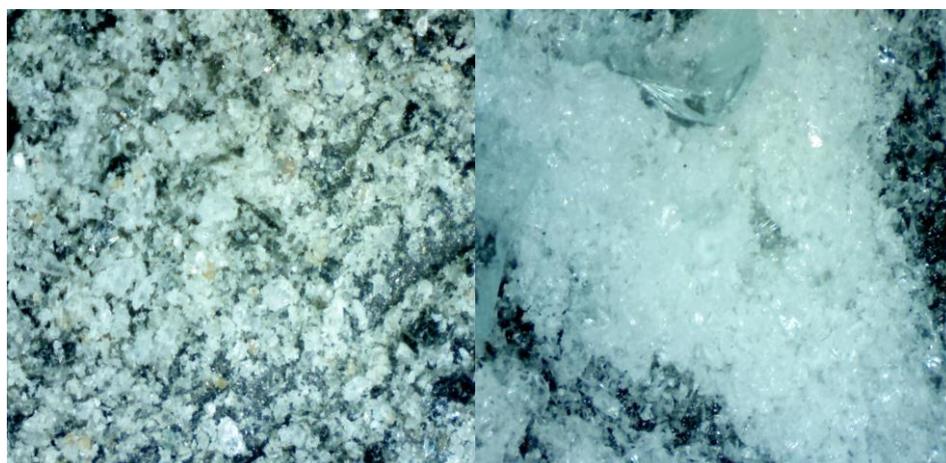
Anexo E – Fotos de pó de pedra e vidro sem ampliação, ampliado 30 X e 50 X.



Pó de Pedra X. Vidro X.

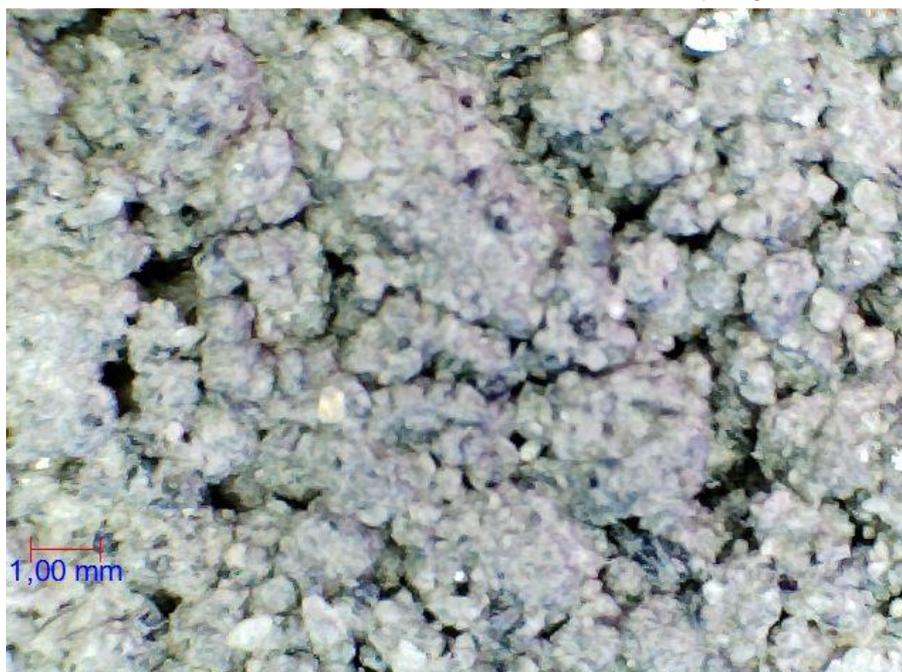


Pó de Pedra30 X. Vidro30 X.



Pó de Pedra50 X. Vidro50 X.

AnexoF –Fotos de concreto com AMN e com AMVT com ampliação 20 X.



Concreto com AMN.



Concreto com AMVT.