

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE
ARGAMASSAS COLANTES UTILIZANDO AREIAS DO
MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – ESTADO DE RONDÔNIA

DANIEL MARTINS

PORTO VELHO - RO
2016

DANIEL MARTINS

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE
ARGAMASSAS COLANTES UTILIZANDO AREIAS DO
MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – ESTADO DE RONDÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Materiais e Componentes de Construção.

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

PORTO VELHO – RO
2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M386a Martins, Daniel
Análise Comparativa do Desempenho de Argamassas Colantes
Utilizando Areias do Município de Porto Velho – Estado de Rondônia:
Produção de Argamassas Tipo AC I / Daniel Martins. 2016
53 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Argamassa Colante. 2. Aditivos. 3. Areias de Porto Velho.
4. Produção de Argamassa. I. Melo Filho, Prof. Dr. João de Almeida
II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

DANIEL MARTINS

**Análise Comparativa do Desempenho de Argamassas Colantes
Utilizando Areias do Município de Porto Velho – Estado de Rondônia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Data de Aprovação: 10/06/2016

Banca examinadora

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho
Orientador

Prof. Dr. Raimundo P. de Vasconcelos
Examinador 1

Prof^a. Dr^a Valdete Santos de Araújo
Examinadora 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua guia e proteção no decorrer deste trabalho, me proporcionando sabedoria, paciência e muita fé, para resistir as turbulências e obter mais esta vitória.

A minha amada esposa Valéria Ferreira Bentos Martins e as minhas queridas filhas Danielly, Valeriany e Nicolly, por me fornecerem os estímulos necessários para que eu não desanimasse no decorrer da jornada.

Aos meus pais, irmãos e familiares, por terem me agraciado com carinho, amor e muita força para jamais retroceder em minha caminhada.

Aos meus amigos, por sempre estarem próximos a mim, me dando forças e momentos de alegria, indispensáveis ao desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu professor orientador Dr. João de Almeida Melo Filho e ao meu aluno e amigo Aedjota Matos de Jesus, pela grande força e ajuda, me auxiliando no desenvolvimento deste trabalho, principalmente nos ensaios laboratoriais com sua grande experiência e esforço.

Sou muito agradecido ao querido Professor Ms. Hércules Jesus de Carvalho Borges pelo incentivo quando decidi não dar mais continuidade ao trabalho, devido a sobre carga de funções que eu estava desempenhando, ele me abriu os olhos com argumentos muito persuasivos e convincentes a ponto de me fazer iniciar novamente.

Não posso esquecer de incluir em meus agradecimentos a querida Gúnila da Silva Alves, Supervisora de Pós Graduação da FARO, por sempre me manter informado e também pelos incentivos dela recebido

Ao meu amigo João Capristano, que me auxiliou na coleta das amostras, inclusivas utilizando seu GPS para fornecer a localização das jazidas de areias.

Não quero ser injusto, mas é difícil lembrar de todos que direta ou indiretamente me auxiliaram, portanto peço a Deus que abençoe a todos e sei que com a conclusão deste trabalho iniciou-se uma nova rede de amizades

Para um desafio enorme, uma motivação grandiosas, transformando momentos de angústias e sofrimentos num largo campo de alegria e prazeres a cada obstáculo transposto, já vislumbrando o resultado e sabendo que a vitória seria certa.

Resumo da Dissertação apresentada ao PROPESP/UFAM como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (M.Sc.)

Análise Comparativa do Desempenho de Argamassas Colantes Utilizando Areias do Município de Porto Velho – Estado de Rondônia

Daniel Martins

Junho/2016

Orientadores: Dr. João de Almeida Melo Filho

Argamassas colantes são materiais muito empregadas na construção civil, e constituídas basicamente de cimento, areia, aditivos e água. Contudo, as mesmas são produzidas nos grandes centros industriais do país, principalmente no estado de São Paulo, muito distante da cidade de Porto Velho – RO, o que eleva o custo final do produto. O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma Argamassa Colante Tipo ACI, utilizando areias do município de Porto Velho. Para tanto, foram utilizadas duas areias quartzosas de rio, aditivo químico Celotex K60® e cimento CP IV-32 para formulação de três traços das argamassas. Para caracterizar as areias foram realizados ensaios para determinar massa unitária, massa específica e umidade superficial, bem como a distribuição granulométrica. Para caracterizar a argamassa foram realizados ensaios para determinar o percentual de retenção de água, a resistência de aderência e resistência a compressão axial e diametral, além da avaliação do padrão de fissuração dos corpos de prova. Os resultados mostraram que ambas as areias possuem propriedades físicas e granulometria bastante semelhantes; já quanto às argamassas foi possível notar a relação entre massa específica fresca com o índice de retenção de água, e também que a medida que aumenta a quantidade de areia ocorre a redução da resistência tanto de aderência quanto de compressão. Assim, concluir que a areia A tem desempenho melhor na composição das argamassas quando se compara com a areia B, e que o traço 1:3 (cimento:areia) apresenta melhores resultados, contudo a composição 1:4 possui características adequadas para atender as normas para argamassa colante industrializada.

Palavras-chave: Argamassa Colante. Produção de Argamassa. Aditivos. Areia de Porto Velho - RO.

Abstract of Dissertation presented to PROPESP/UFAM as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Civil Engineering (M.Sc.)

Comparative Analysis of Dry-Set Mortar Performance Using Sands From the City of Porto Velho, in the State of Rondônia.

Daniel Martins

June/2016

Advisors: Dr. João de Almeida Melo Filho

Dry-set mortars are widely used in civil construction, and are made basically of cement, sand, water and admixtures. However, their factories are located far from the city of Porto Velho, in the industrial nuclei of Brazil, most of them in São Paulo, which rises the final price of the product. This research aimed to develop a dry-set mortar using sands extracted in Porto Velho. Two types of quartz sands extracted from the river, Celotex K60® chemical admixture and CP IV-32 cement were used in the formulation of three distinct mix proportions of mortar. In order to characterize the sands, there were made tests measuring their density, unit mass, moisture and granular distribution. The mortars were characterized by the tests of water retention rate, tensile bond strength, axial compressive strength, diametral compressive strength, and also by the evaluation of the cracking pattern of the specimens. The results have shown that both sands have similar physical and granulometric properties, in the other hand, it was possible to notice the relationship between the bulk density fresh and the water retention. It was also seen that as the sand was increased as the bond and compressive strength were decreased. It is concluded that the Sand A has a better performance than Sand B in terms of dry-set mortar composition, the mix proportion 1:3 (cement and sand) gives better results, however the mix proportion 1:4 has more suitable characteristics in terms of Brazilian standard for Industrial Mortars.

Key words: Dry set mortar. Admixtures. Sands from Porto Velho - RO.

SUMÁRIO

Agradecimentos	iii
Sumário.....	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Quadros	xi
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Motivação	13
1.2 OBJETIVO	13
1.3 Estrutura do Trabalho	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 ARGAMASSA COLANTE.....	15
2.1.1 Considerações iniciais	15
2.1.2 Argamassa colante para construção civil.....	15
2.1.3 História da argamassa colante	16
2.2 AGREGADOS PARA ARGAMASSA COLANTE	18
2.2.1 Distribuição granulométrica	19
2.2.2 Composição mineralógica dos grãos	20
2.2.3 Propriedades físicas dos agregados	21
2.3 ADITIVOS PARA ARGAMASSA COLANTE	22
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	25
3.1 MATERIAIS.....	26
3.1.1 Cimento Portland.....	26
3.1.2 Areia	26
3.1.3 Aditivo	29

3.2	DOSAGEM DA MATRIZ	29
3.2.1	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	30
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS	31
3.3.1	Distribuição granulométrica	31
3.3.2	Propriedades físicas	32
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	32
3.4.1	Ensaio de retenção de água	32
3.4.2	Ensaio de arrancamento	33
3.4.3	Ensaio de compressão axial e diametral	37
4	RESULTADOS	39
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	39
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS	39
4.2.1	Análise granulométrica da areia	39
4.2.2	Propriedades físicas das areias.....	42
4.3	INFLUÊNCIA DA DOSAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS	43
4.3.1	Comportamento no estado fresco	43
4.3.2	Comportamento das argamassas ao arrancamento	44
4.3.3	Comportamento das argamassas à compressão	45
5	CONCLUSÃO	47
5.1	CONCLUSÕES	47
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma do programa experimental	25
Figura 3.2 – Croqui de situação do local de estudo.....	27
Figura 3.3 – Imagem de satélite da localização do Areal A na margem do Rio Candeias.....	28
Figura 3.4 – Imagem de satélite da localização do Areal B na margem do Rio Candeias.....	28
Figura 3.5 – Funil de Büchner adaptado para o ensaio de retenção de água.....	33
Figura 3.6 – Bloco de concreto de dimensões 14x19x39cm utilizado como substrato padrão para assentamento das placas cerâmicas.....	34
Figura 3.7 – Passos para aplicação da argamassa sobre o substrato-padrão para o assentamento das placas cerâmicas.	34
Figura 3.8 – Detalhe das placas cerâmicas assentadas antes do ensaio, da pastilha metálica e da cola instantânea utilizada no procedimento de arrancamento.	35
Figura 3.9 – Detalhe da disposição da máquina de arrancamento das placas cerâmicas durante o ensaio.....	35
Figura 3.10 – Realização do ensaio de arrancamento da placa cerâmica.....	36
Figura 3.11 – Marcador digital mostrando o valor de arrancamento durante o ensaio.....	36
Figura 3.12 – Detalhe do ensaio de compressão axial.....	37
Figura 3.13 – Detalhe do ensaio de compressão diametral.	37
Figura 4.1 – Curva granulométrica da argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO.	40
Figura 4.2 – Curva granulométricas das areias A e B	42
Figura 4.3 –Resultado do ensaio de retenção dos traços de argamassas colantes produzidas.....	43
Figura 4.4 – Resultados de resistência de aderência à tração segundo a NBR 14081.	45
Figura 4.5 – Tensão à compressão axial e diametral apresentada pelas argamassas no ensaio	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades fundamentais para argamassa colante.....	16
Tabela 3.1 – Formulário técnico do Celotex K60®.	29
Tabela 3.2 –Traços utilizados no desenvolvimento da argamassa colante.....	30
Tabela 3.3 – Relação entre os componentes das argamassas.	31
Tabela 4.1 – Análise química da composição do cimento	39
Tabela 4.2 – Resultados das análises granulométricas das areias	40
Tabela 4.3 – Propriedades físicas das areias.....	42
Tabela 4.4 – Índice de retenção de água e a massa específica das argamassas no estado fresco.	44
Tabela 4.5 - Resultados do ensaio de arrancamento.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipos de argamassa colante.....	16
Quadro 2.2 – Classificação da areia quanto ao diâmetro do grão.....	18
Quadro 2.3 – Principais representantes dos minerais terrígenos.....	21
Quadro 2.4 – Principais representantes dos minerais químicos e autigênicos.....	21

1 INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001) defini-se como argamassa a uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo conter aditivo ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, estabelecendo os requisitos exigidos para argamassa.

Argamassa colante é um tipo de argamassa dosada industrialmente e utilizada para aplicação de revestimentos cerâmicos. A principal característica das argamassas colantes é a utilização de aditivos que conferem a argamassa alto poder de retenção de água, melhorar as propriedades de trabalhabilidade e tempo em aberto, onde atuam de modo a aumentar ou diminuir a quantidade de água em sua composição, bem como elevar a resistência de aderência (DAL MOLIN, 2011).

As propriedades e características das argamassas dependem de diversos fatores, relacionado às características dos materiais que a compõem, à dosagem e às técnicas de mistura e aplicação (CARDOSO et al., 2005).

Nesse sentido, a qualidade das argamassas está diretamente ligada à qualidade das areias. Segundo Oliveira (2004) a proporção dos materiais empregados na produção das argamassas colantes – cimento, areia, adições, aditivos e água, bem como sua natureza e características, determinam as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Dessa forma, as proporções de mistura devem ser adotadas em função das condições de aplicação e dos tipos de exposição dos revestimentos, levando-se em consideração os diversos esforços a que os mesmos estarão submetidos ao longo de sua vida útil.

1.1 MOTIVAÇÃO

Apesar de existirem indústrias de renomes que produzem argamassas Colantes Tipo ACI, as mesmas estão localizadas nos grandes centros industriais do país, principalmente no estado de São Paulo, muito distante da cidade de Porto Velho RO e como nosso sistema de transporte no Brasil é predominantemente rodoviário, o custo final que o produto chega no mercado consumidor é muito elevado. Considerando que a composição da argamassa é basicamente areia e cimento, ambos abundantes na região Norte, pois há indústria de cimento instalada no município, sendo necessário adquirir nos grandes centros somente os aditivos.

Como a composição da argamassa colante é principalmente areia e cimento, o trabalho visa responder a seguinte questão: A partir das areias da região de Porto Velho é possível produzir argamassa colante Tipo ACI com características que atendam aos requisitos normativos?

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é comparar o desempenho de uma argamassa colante industrializada com argamassa colante tipo ACI, produzida com areias de Porto Velho – RO com outras argamassas industrializadas.

Especificamente, pretende-se:

- Caracterizar areias coletadas em duas jazidas diferentes e analisar o seu emprego para argamassa
- Produzir uma argamassa colante Tipo ACI e verificar se esta atende os requisitos exigidos pela ABNT;
- Comparar os resultados obtidos com uma marca comercializada no município de Porto Velho - Rondônia.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto de cinco capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução ao trabalho, ressaltando a relevância do tema, a motivação do estudo, os objetivos da pesquisa e a estrutura do trabalho;

- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, no qual está a fundamentação teórica do trabalho, onde são apresentadas e analisadas as bibliografias que abordam a argamassa colante e suas propriedades, com enfoque, sobretudo nos componentes da argamassa;
- Capítulo 3 – Descrição dos procedimentos experimentais, nos quais são realizadas as caracterizações dos materiais a serem empregados na produção da argamassa colante, a metodologia empregada para realização dos ensaios, bem como os respectivos ensaios físicos e mecânicos realizados;
- Capítulo 4 – Trata dos resultados obtidos, em que são mostrados os resultados que contemplam os parâmetros analisados, propriedades físicas dos componentes utilizados e as propriedades das argamassas obtidas. Para tanto, são discutidos os resultados alcançados e suas correlações com outros trabalhos similares; e
- No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais obtidas a partir de análise experimentais, e são apresentadas sugestões para futuras pesquisas em argamassas colantes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARGAMASSA COLANTE

2.1.1 Considerações iniciais

As argamassas colantes são normalizadas pela ABNT por meio da NBR-14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Assim, a NBR 14081 (2012) define argamassa colante, quando seco, como um composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

Nesse sentido, a argamassa é um produto industrializado formado a partir da mistura de cimento Portland, areia e aditivos, e é utilizado para fixar placas cerâmicas em um substrato vertical ou horizontal, no qual se deve conhecer as características individuais de cada componente, a fim de compreender as propriedades da argamassa colante.

2.1.2 Argamassa colante para construção civil

As argamassas devem atender a duas condições importantes: exposição durante a aplicação e as condições permanentes durante a vida útil dos revestimentos cerâmicos. No qual, a primeira dessas condições é conhecida como tempo em aberto, que é o período de tempo após o espalhamento da argamassa, tendo em vista a necessidade de utilizar aditivos para reter mais água, devido à demora na fixação das peças cerâmicas (SILVA et al., 2006).

Assim, a NBR 14081 (2012) define como tempo em aberto enquanto o maior tempo no qual uma placa cerâmica pode ser assentada sobre a pasta de argamassa colante de modo que não sejam perdidas as propriedades fundamentais da argamassa colante.

As argamassas colantes industrializadas são designadas pela sigla AC, seguida dos algarismos romanos I, II ou III que indicam seu tipo, conforme Quadro 2.1:

Quadro 2.1 – Tipos de argamassa colante.

<i>Tipo I – AC I</i>	Com características de resistências às solicitações mecânicas e termo-higrométricas típicas de revestimentos internos.
<i>Tipo II – AC II</i>	Com características adesividade às solicitações que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termo-higrométrica e à ação do vento.
<i>Tipo III – AC III</i>	Com característica de aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II.

Fonte: NBR 14081, 2012 (adaptado).

As argamassas colantes industrializadas devem atender aos requisitos estabelecidos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Propriedades fundamentais para argamassa colante

Requisitos		Unidade	Critério		
			<i>AC I</i>	<i>AC II</i>	<i>AC III</i>
<i>Tempo em aberto</i>		Minutos	≥ 15	≥ 20	≥ 20
<i>Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura</i>	Cura normal	MPa	$\geq 0,5$	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$
	Cura submersa		$\geq 0,5$	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$
	Cura em estufa		–	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$

Fonte: NBR-14081, 2012 (adaptado).

2.1.3 História da argamassa colante

Segundo Fiorito (1994) o surgimento das argamassas colantes ocorreu através do desenvolvimento de pesquisas em busca de técnicas mais racionalizadas para fixação de componentes cerâmicos, as quais foram iniciadas nos Estados Unidos no final da II Guerra Mundial, em 1945, e no Brasil em meados da década de 60, motivadas principalmente pelo aparecimento de inúmeros problemas de descolamentos em revestimentos de pisos e paredes. Contudo, antes da introdução da argamassa colante no mercado, o assentamento de placas era feito com argamassa convencional misturado em obra, sem aditivos. Cujas soluções usuais para o assentamento do revestimento cerâmico envolviam a aplicação de uma camada de argamassa

convencional com uma espessura média de 20 mm de espessura, no qual a desidratação da argamassa era grande por sucção para o substrato, e por evaporação para o meio ambiente.

Em um estudo realizado por Détrichéet al (1985) foi verificado que o tempo para perder água por evaporação está diretamente ligada a espessura da argamassa sem aditivo, assim quanto maior a espessura da argamassa maior seria o tempo para desidratar a argamassa por evaporação, porque o teor total de água livre é maior. Nesse sentido, para reduzir a perda de água por sucção era comum imergir a placa de cerâmica em água, assentando-a úmida sobre o substrato, de modo que a elevada espessura e umidade presente na placa cerâmica garantiam a existência de água para hidratar o cimento da argamassa, suprimindo as perdas de água desta para a base, para o meio ambiente e para a placa cerâmica.

Na década de 1960 foi desenvolvida a primeira argamassa colante para assentamento de placas cerâmicas, sendo utilizado como aditivo o polímero Metil Celulose que promovia grande capacidade de retenção de água (WAGNER, 1973).

Já no Brasil a primeira argamassa colante surgiu em 1971, inspirada na “*dry-set mortar*” - denominação se deve ao fato da argamassa ser uma mistura pronta, necessitando, unicamente, o acréscimo de água (FIORITO, 1994).

A partir de então, uma infinidade de tipos de polímeros têm sido estudada pelo meio técnico e empregados pelas indústrias fabricantes de argamassas colantes, tal maneira que na década de 1980, as indústrias brasileiras passaram a produzir a argamassa colante em maior escala, surgindo à necessidade de uma normalização específica. Assim, em 1994 o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CB-18 da ABNT iniciou os estudos para normalização das argamassas colantes (SILVA, 2003).

Em 1998 foi aprovado e publicado a NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas com objetivo de fixar os requisitos exigíveis para argamassas colantes industrializados destinadas ao assentamento de placas cerâmicas pelo método de camada fina. Posteriormente, em 2004 foi atualizada, e em 2012 ocorreu mais uma atualização, desta forma, a norma que regulamenta argamassa colante é a NBR 14081:2012.

2.2 AGREGADOS PARA ARGAMASSA COLANTE

Para Petrucci(1982) agregado para poder ser utilizado, deve possuir uma boa resistência mecânica à compressão, sendo os agregados materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil.

O agregado tem três importantes funções: i) proporcionar ao aglomerante um material de enchimento relativamente econômico; ii) prover a pasta de partículas adaptadas para resistir às cargas aplicadas, ao desgaste mecânico e à percolação da intempérie; e iii) Diminuir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de argamassa (MINEROPAR, 2004).

O agregado utilizado em argamassa colante é o miúdo, a areia especificamente, definido pela NBR 6502/1995 como sedimentos clásticos formados por fragmentos de rochas pré-existentes, com grãos com dimensões que variam entre 0,06 e 2,00 mm. Nesse sentido ainda, a norma classifica a areia em três tipos, conforme Quadro 2.2

Quadro 2.2– Classificação da areia quanto ao diâmetro do grão.

<i>Areia Fina</i>	Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 0,2 mm.
<i>Areia Média</i>	Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0,20 mm e 0,60 mm.
<i>Areia Grossa</i>	Areia com grãos de diâmetros compreendidos entre 0,60 mm e 2,0 mm.

Fonte: NBR 6502, 1995 (adaptado).

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos é uma variável determinante no desempenho das argamassas, tanto no que se referem às proporções adequadas de tamanhos quanto no que se refere à morfologia e textura das partículas (SILVA; CAMPITELI, 2006). Tristão (2005) complementa que a grande variabilidade de origens, minerais formadores, fenômenos de intemperismo, desintegração e processo de produção, gera agregados de diferentes propriedades que são, por sua vez, determinantes nas propriedades das argamassas.

Contudo, como já apontado por Arnold (2011), não existe norma brasileira para caracterizar os agregados para serem utilizados na produção da argamassa. Deste modo, as argamassas são produzidas seguindo as exigências normalizadas pela NBR 7211(2009): Agregados para concreto – Especificação.

A NBR 7211 (2009) estabelece que os grãos dos agregados devam ser duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não devem conter substâncias de natureza nociva em quantidade que possa afetar a hidratação e o endurecimento do cimento e sua durabilidade. A

norma ainda faz exigências quanto à seleção dos agregados, tais como distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e alguns parâmetros relacionados à forma do grão e espaços vazios.

Segundo Tristão (2005) os tamanhos, expressos em termos de distribuição granulométrica, a textura superficial, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade, área superficial a composição mineralógica fazem parte de parâmetros textuais dos grãos, que devem ser quantificados devido à diversidade de areias existentes. Por tanto, os parâmetros textuais dos grãos serão mais bem detalhado a seguir.

2.2.1 Distribuição granulométrica

Uma análise da granulometria visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. Essa análise tem grande importância e aplicação prática principalmente para determinação do módulo de finura e curva granulométrica utilizados na dosagem de concretos e argamassas, e para se ter um melhor controle da homogeneidade dos lotes de agregados recebidos na obra (METHA & MONTEIRO, 2008).

Metha&Monteiro (2008) aponta que a especificação dos limites granulométricos do agregado miúdo, assim como o conhecimento da sua dimensão máxima e do seu módulo de finura são de extrema importância, pois estas características influenciam na trabalhabilidade e no custo do concreto ou argamassa. De modo que areias muito grossa produzem misturas pouco trabalháveis e areias muito finas aumentam a demanda de água para a hidratação do cimento.

Uma grande quantidade de material pulverulento como, por exemplo, o silte e pó fino, prejudicam a hidratação do cimento, uma vez que devido a sua finura e grande área superficial necessitam de mais água para molhagem de todas as partículas aumentando consecutivamente a relação água/cimento e diminuindo a resistência do concreto (NEVILLE, 1982).

Em um estudo sobre a influência da composição granulométrica do agregado miúdo natural nas propriedades de argamassas Tristão (1995) observou que argamassas produzidas com agregados miúdos muito uniformes possuem maior consumo de aglomerantes e de água

de amassamento, no qual o autor ainda apontou indícios de que agregados miúdos bem graduados aumentam a retenção de água e as resistências à compressão e à tração.

Na distribuição granulométrica da areia quanto maior a sua continuidade, maiores serão as resistências mecânicas. Este fato ocorre devido à melhoria no empacotamento da mistura, o qual pode ser demonstrado tanto pelo aumento do coeficiente de uniformidade do agregado miúdo, como pelo aumento do valor da massa unitária. Nesse sentido a distribuição granulométrica do agregado da areia influencia na resistência mecânica das argamassas (CARNEIRO, 1999).

Angelim et al. (2003) levanta dois aspectos ligados a distribuição granulométrica da areia que influenciam diretamente no desempenho da argamassa: i) no estado fresco: interfere na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes; e ii) no estado seco: exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência.

2.2.2 Composição mineralógica dos grãos

Os quadros Quadro 2.3 e Quadro 2.4 mostram a frequência relativa dos minerais mais comumente encontrados em rochas sedimentares, e são divididos de acordo com o tipo de mineral: minerais terrígenos, e minerais químicos e autigênicos.

Os minerais terrígenos são derivados por intemperismo e erosão de rochas matrizes (ígneas, metamórficas ou sedimentares), seguido de transporte e compreendem de 60 a 80% das colunas estratigráficas.

Quadro 2.3 –Principaisrepresentantes dos minerais térrigenos.

<i>Quartzo</i> (35 a 50%)	Um dos minerais mais estáveis e de maior abundância na crosta terrestre.
<i>Minerais de Argila</i> (25 a 35%)	Filossilicato derivado do intemperismo de outros silicatos de origem primária das rochas ígneas, principalmente feldspatos. Os principais tipos de minerais de argila compreendem os grupos de montmorillonita, illita, caulinita e clorita.
<i>Fragmentos de Rochas Metamórficas</i> (5 a 15%)	Compõem-se de partículas detriticas de ardósia, filito, quartzito fino e outros. Não são minerais restritos e podem apresentar-se como fragmentos uni ou plurimineralógicos.
<i>Feldspatos</i> (5 a 15%)	Compreendem dois grupos: potássicos e plagioclasicos, sendo o primeiro muito mais abundante que o segundo nas rochas sedimentares.
<i>Sílex</i> (1 a 4%)	É formado por SiO ₂ na forma cripto ou microcristalina, resultando do retrabalhamento de partes silicadas (nódulo e camadas de substituição de CaCO ₃ por SiO ₂) de antigos calcários.
<i>Mica Grossa</i> (0,1 a 0,4%)	A muscovita é a mais abundante por se resistente ao intemperismo, podendo algumas biota ou clorita com diferentes graus de alteração.
<i>Carbonatos</i> (0,2 a 1%)	Mais comuns são os calcários e os dolomitos, no qual, frequentemente os fragmentos das rochas sedimentares são originários do retrabalhamento de calcários antigos.
<i>Minerais Acessórios Pesados</i> (0,1 a 1%)	Correspondem aos minerais acessórios de rochas ígneas, metamórficas e de rochas sediementares mais antigas, sendo possível encontrar vários tipos de minerais pesados: opacos, ultra-estáveis e menos estáveis.

Fonte:FOLK , 1968 apud Suguio, 1998 (adaptado).

Os minerais químicos e autigênicos abrangem cerca de 20 a 40% das colunas estratigráficas e são formados pela precipitação a partir de soluções dentro de uma bacia de deposição ou formados durante a fase de diagênese dos sedimentos.

Quadro 2.4 –Principaisrepresentantes dos minerais químicos e autigênicos.

<i>Carbonatos</i> (70 a 85%)	Mais comum nos registros é a calcita (2/3 a 3/4), seguida pela dolomita (1/3 a 1/4), e em menor quantidade aragonita, siderita e ankerita.
<i>Sílica</i> (10 a 15%)	Ocorre principalmente nas formas de quartzo e sílex, e menos freqüente como opala.
<i>Sulfato e Outros Sais</i> (2 a 7%)	Os mais comuns são gipsita e anidrita, enquanto que os sais são de halita, podendo ocorrer em menores quantidades de silvita, carnalita, barita e outros.
<i>Minerais autigênicos</i> (2 a 7%)	São grupos de minerais formados durante a sedimentação ou fase de diagênese precoce, podendo indicar as condições físico-químicas dos ambientes de sedimentação.

Fonte:FOLK , 1968 apud Suguio, 1998 (adaptado).

2.2.3 Propriedades físicas dos agregados

Meier (2011) destaca que conhecer as propriedades físicas das areias como os valores da massa específica, massa unitária e absorção de um agregado são extremamente importante e muito utilizado na prática para determinar o traço a ser utilizado na argamassa.

Silva (2006) ainda destaca que a massa unitária da areia é um critério importante no estudo do desempenho da argamassa, em que recomendam também estudos mais aprofundados das curvas granulométricas da areia sejam realizados, a fim de se estabelecer correlações com as propriedades das argamassas. Outro parâmetro importante de se ressaltar é o módulo de finura, a distribuição granulométrica e o coeficiente de uniformidade desconsideram a forma dos grãos que, por sua vez, influenciam diretamente no empacotamento dos grãos.

A Umidade superficial, definido pela NBR 9775, corresponde a água aderente à superfície dos grãos e é expressa em porcentagem da massa do agregado úmido em relação à massa do agregado seco, e o valor é obtido através da equação 2.1.

$$h = \frac{100[500 - (L - 200)\gamma]}{\gamma(l - 700)} \quad (\text{Equação 2.1})$$

No qual, se tem h : porcentagem de umidade, L : leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo) e γ : massa específica do agregado miúdo.

Outro tipo de umidade que se pode analisar é a umidade hidróscópica que representa uma umidade residual, que mesmo quando um agregado é coletado e deixado secar ao ar apesar de o teor de umidade reduzir ainda exibe certa quantidade de umidade (KORMANN, 1997).

2.3 ADITIVOS PARA ARGAMASSA COLANTE

Bauer (2000) definiu aditivo como todo produto não indispensável à composição e finalidade da argamassa ou concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogêneas, faz aparecer ou reforça certas características.

Nesse sentido, os aditivos são produtos químicos adicionados a composição do traço das argamassas com o objetivo de melhorar suas características relativas à plasticidade, tempo de utilização, resistência mecânica, impermeabilidade, aparência e durabilidade.

Vieira (2009) destaca ainda que os aditivos quando misturados na confecção de argamassas modificam as propriedades físico-químicas destas, com objetivo de melhorar e facilitar a confecção, o lançamento e a aplicação, tal que elimine os efeitos indesejáveis como segregação, fissuramento, bolhas, etc. tal modo que melhora as características de endurecimento da pasta (ganho de resistência com o tempo), influenciando na taxa de hidratação do cimento de resistência mecânica, impermeabilidade, aparência e durabilidade.

Segundo Nascimento (2012) os aditivos são divididos em quatro grandes grupos: tensoativos, sais solúveis, polímeros e minerais insolúveis. No qual os aditivos variam largamente quando à composição química sendo que a maioria desempenha mais de uma função. Os aditivos podem também ser classificados de modo amplo, em dois tipos: i) os que começam a agir instantaneamente sobre o sistema água-cimento, por modificação da tensão superficial da água ou por absorção à superfície das partículas de cimento; e ii) os aditivos que se dissociam em seus íons constituintes e afetam as reações químicas entre os compostos de cimento e água de alguns minutos até algumas horas após a adição.

As propriedades das argamassas estão intimamente relacionadas ao teor de polímero empregado, ou seja, da relação polímero/cimento, cuja relação polímero/cimento é definida como a relação em massa da quantidade de polímerosólido presente em um aditivo polimérico, para a quantidade de cimento empregado no preparo da argamassa (VIEIRA, 2009).

Para Vieira (2009) o aditivo polimérico (a base de polímero) é um composto que consiste de um polímero como substância principal para a modificação e/ou melhora das propriedades de argamassa e concretos. Estes aditivos poliméricos são divididos em quatro tipos: a) polímero a base de látex (ou dispersão de polímero); b) polímero em pó dispersível; c) polímeros solúveis em água; e d) polímero líquido.

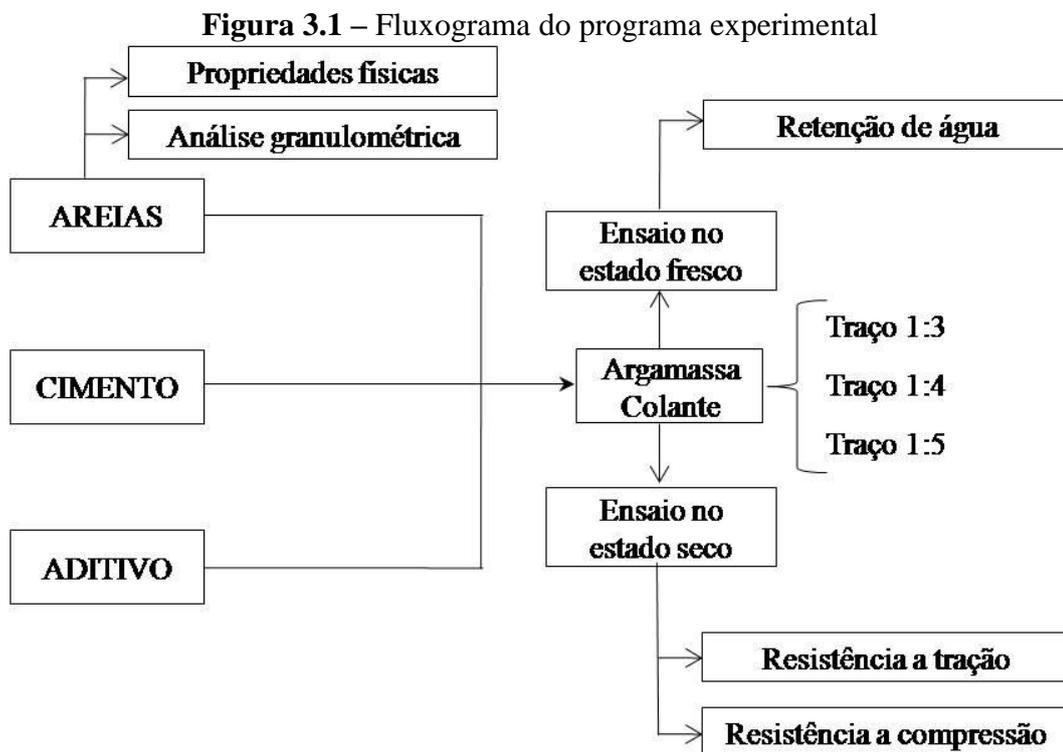
Em geral os polímeros solúveis em água, são os derivados celulósicos (como por exemplo, hidroxietilcelulose – HEC, hidroxietilmetilcelulose – HEMC, hidroxipropilmetilcelulose – HPMC, ametilcelulose – MC), o álcool polivinílico (PVA) e a poliacrilamida. Eles são adicionados à argamassas na forma de pó ou soluções aquosas durante a mistura dos constituintes de argamassas e concretos (VIEIRA, 2009).

As soluções aquosas de éteres de celulose são bastante usadas como aditivos na produção de argamassas e concretos na indústria da construção. Os éteres de celulose geralmente são usados na composição de formulações de argamassas industriais para melhorar a trabalhabilidade da argamassa fresca e a aderência ao substrato. Vale destacar também que os éteres de celulose provocam um aumento significativo na capacidade de retenção de água e na viscosidade da pasta de cimento, de modo que as misturas também podem reduzir o risco de separação dos constituintes heterogêneos durante o transporte e armazenamento, proporciona estabilidade enquanto no estado fresco por resultarem em sistemas altamente viscosos, com boa capacidade de retenção de água e adesão. Nesse sentido

os éteres de celulose são polímeros comumente usados na composição de argamassas colantes industrializadas (VIEIRA, 2009).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental segue ilustrado na Figura 3.1, no qual consta o programa experimental empregado no desenvolvimento da pesquisa. Assim, ao longo deste capítulo é descrito os procedimentos utilizados em cada etapa apresentado no fluxograma.



3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP IV-32 da marca Itaú produzido pela Votorantim Cimentose adquirido no município de Porto Velho – RO. Optou-se pelo uso deste cimento em razão do mesmo estar disponível no mercado da cidade.

Para caracterização química do cimento foi realizado ensaio no Laboratório de STA/FRX da Universidade Federal do Amazonas, no qual se utilizou uma análise do tipo varredura no equipamento Epsilon XL.

3.1.2 Areia

Para a realização da presente pesquisa, foram utilizadas duas areias quartzosas de rio, que serão denominadas de areia A e areia B. As mesmas foram coletadas em areais localizados na cidade de Porto Velho – RO, cuja localização e coordenadas geográficas são mostradas na Figura 3.2,

Figura 3.3e Figura 3.4.

Figura 3.2 – Croqui de situação do local de estudo.

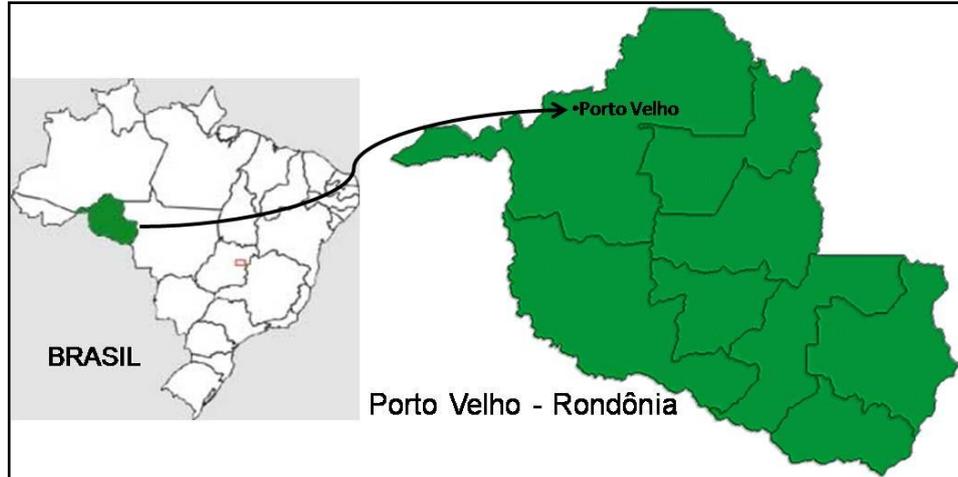
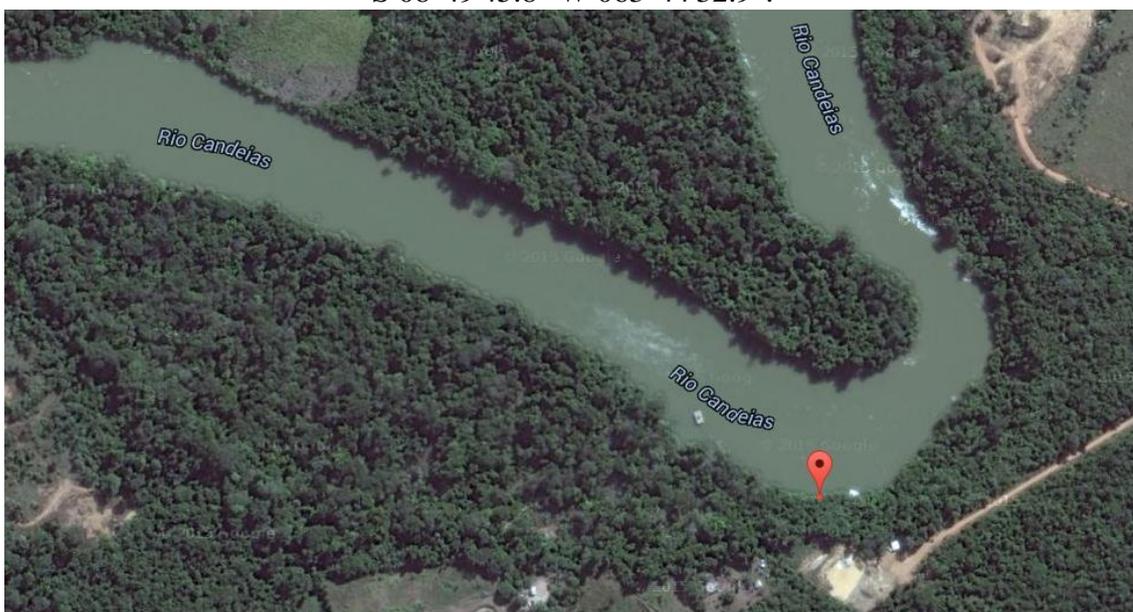


Figura 3.3—Imagem de satélite da localização do Areal A na margem do Rio Candeias. S 08°49'45.8" W 063°44'32.9".



Figura 3.4—Imagem de satélite da localização do Areal B na margem do Rio Candeias S 08°49'45.8" W 063°44'32.9".



A amostragem consistiu da coleta de aproximadamente 30,00 kg de areia da jazida, uma vez que seriam realizados vários ensaios na amostra, bem como parte seria utilizada para produção das argamassas.

Ao final da coleta, as amostras foram acondicionadas em bobonas de plástico e transportadas para o Laboratório de Solos da Faculdade de Rondônia - FARO.

Em virtude das limitações do laboratório utilizado na presente pesquisa foram realizados os seguintes ensaios para caracterização das propriedades físicas da areia, dentre eles massa unitária, massa específica e umidade superficial, baseados nas normas vigentes da ABNT.

3.1.3 Aditivo

O aditivo químico utilizado na formulação dos traços das argamassas foi doado pela empresa Aditex Indústria e Comércio de Aditivos Químicos Ltda. Foram doados 400g de Celotex K60®, um aditivo para argamassas colantes a base de Hidroxipropilmetilcelulose modificada, com viscosidade em torno de 60.000 a 70.000 MPa·s, e pureza de 98%.

O Celotex K60® é um éter de celulose de alta viscosidade indicado para argamassas colantes, cuja formulário técnico de produto está apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Formulário técnico do Celotex K60®.

Ensaio	Parâmetros
<i>Viscosidade, Brookfield, 2%, em água, 20°C, Spindle 6, 10 rpm</i>	60.000-70.000 mPa.s
<i>Teor de Umidade</i>	Máximo 5,0%
<i>Teor de Cinzas</i>	Máximo 7,0%
<i>Coloração</i>	Branco, levemente amarelado
<i>Odor</i>	Característico/Leve
<i>Aparência/Estado Físico</i>	Pó
<i>Densidade Aparente</i>	0,350 – 0,500 g/cm ³
<i>Teor de Material Retido # 100</i>	Máximo 10,0%

Fonte: Aditex Indústria e Comércio de Aditivos Químicos Ltda, 2013 (adaptado).

3.2 DOSAGEM DA MATRIZ

A dosagem da matriz foi baseada no traço inicial definido por Oliveira (2004), cujo autor adotou as proporções dos materiais empregadas de 1:3 (cimento:areia, em massa), mantendo-se constante a relação água/materiais secos em 0,19 – o que corresponde a uma relação água/cimento de 0,76, contudo, uma nova relação água/cimento foi definida após alguns ensaios preliminares, nos quais se variou esta relação em função da trabalhabilidade da argamassa, adotando-se uma quantidade de água para todas as argamassas numa relação água/cimento 0,88, pois o traço adotado inicialmente, se mostrou impraticável, em virtude de não ser possível obter a homogeneidade necessária para desenvolver o produto.

Para realização dos ensaios foi utilizado o Laboratório de Solos da FARO, no qual foram efetuadas as dosagens e os ensaios mecânicos conforme as normas da ABNT. A produção da argamassa iniciou-se a partir da dosagem dos componentes, basicamente caracterizada por fatores como a proporção água/cimento (a/c) e a proporção cimento/agregado.

A partir da dosagem da matriz foram realizadas análises preliminares com a elaboração de diferentes misturas a fim de estabelecer limites e parâmetros para as proporções

dos componentes na formulação da argamassa, com objetivo de atender a requisitos mínimos de trabalhabilidade e resistência.

3.2.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento para avaliar as propriedades das argamassas foi realizado variando-se as quantidades das areias presente nas argamassas e mantendo-se constante a proporção de aditivo e a relação água/cimento.

Segue na Tabela 3.2 a composição dos traços em massa, bem como a quantidade de aditivo utilizada em cada traço. Os primeiros três traços ocorreram variações dos componentes, enquanto que o último (Traço IV) corresponde uma argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO, que foi utilizada para comparar alguns parâmetros obtidos.

Tabela 3.2–Traçosutilizados no desenvolvimento da argamassa colante

<i>Traços</i>	<i>Componentes</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Quantidade de água (g)</i>
Traço I 1:3	Cimento	500	440
	Areia	1500	
	Aditivo	1,5	
Traço II 1:4	Cimento	500	440
	Areia	2000	
	Aditivo	1,5	
Traço III 1:5	Cimento	500	440
	Areia	2500	
	Aditivo	1,5	
Traço IV	Cimento	1500	300
	Areia		
	Aditivo		

Contudo, para melhor ilustrar as proporções em cada traço foram realizadas as seguintes relações conforme segue a Tabela 3.3, em que a relação em volumes foi obtida a partir da massa unitária conforme sugere a norma NBR NM 45: 2006. Vale destacar que a quantidade de aditivo foi dosado em função da massa de cimento.

Tabela 3.3 – Relação entre os componentes das argamassas.

<i>Traços</i>	<i>Relação</i>			
	<i>Em massa</i>	<i>Em volume</i>	<i>Água/cimento</i>	<i>Água/argamassa</i>
Traço I	1:3:0,30%*	1:2,5	0,88	0,22
Traço II	1:4:0,30%*	1:3,4	0,88	0,18
Traço III	1:5:0,30%*	1:4,2	0,88	0,15
Traço IV	-	-	-	0,17

* A quantidade de aditivo em função da massa de cimento.

Vale destacar que os traços I, II e III foram realizados tanto com areia do Areal A quanto do Areal B, contudo para diferenciar quanto qual tipo de areia foi utilizado efetuou-se a complementação das letras A ou B após os algoritmos, por exemplo, Traço IA corresponde a uma composição de 1:3 que possui uma parte de cimento e três partes de areia A, enquanto que o Traço IB corresponde a uma composição de 1:3 que possui uma parte de cimento e três partes de areia B, e assim sucessivamente.

A produção das argamassas foi realizada em ambiente laboratorial, onde a areia utilizada foi acondicionada a temperatura de 27,7°C e umidade relativa do ar de 42%, até o momento do seu uso.

Para o desenvolvimento da argamassa, fez-se uma proporção do traço escolhido, em peso, adequando-o ao tamanho do misturador mecânico. Em seguida, mediu-se a massa de cada componente em uma balança de precisão e em seguida foram misturados todos os materiais secos, inclusive o aditivo, pois este é apresentado em pó. Levou-se essa mistura para o misturador mecânico de eixo vertical e adicionou-se lentamente a água previamente dosada, com o misturador mecânico em funcionamento. Efetuou-se a mistura por aproximadamente cinco minutos, para que houvesse uma completa homogeneização da argamassa.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS

3.3.1 Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica é uma classificação de solos segundo as dimensões dos seus grãos ou partículas e suas diferentes percentagens de ocorrência (NBR 6502/1995). Assim, a distribuição granulométrica é a expressão das várias frações dimensionais do agregado relacionando a porcentagem retida ou porcentagem retida acumulada com abertura nominal, em milímetros, da malha das peneiras da série de peneiras adotadas, tratando-se

então de um procedimento experimental para determinar o diâmetro máximo do agregado miúdo, o módulo de finura e a curva granulométrica.

Neville (1997) aponta que o resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado com maior facilidade quando representado graficamente, no qual nas curvas granulométricas usam-se normalmente as ordenadas para representar as porcentagens acumuladas passantes e as abscissas para representar as aberturas das peneiras em escala logarítmica. Com a curva granulométrica é possível notar se a granulometria da amostra se enquadra em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em um determinado tamanho. O autor ainda destaca que como as aberturas das peneiras, em uma série padrão, estão em uma razão constante 1:2, um gráfico logarítmico mostra estas aberturas com espaçamentos iguais.

Esta etapa consiste na determinar a distribuição granulométrica, e foi realizada em amostras das duas areias seguindo os procedimentos da NBR NM 248: 2003. A caracterização granulométrica da areia foi feita por peneiramento com a série normal de peneiras, desde abertura 2,0 mm até abertura 0,075 mm (#200), seguindo conforme a norma.

3.3.2 Propriedades físicas

Foram feitos os ensaios para determinar massa unitária, massa específica e umidade superficial, no qual se seguiu as normas vigentes da ABNT para determinar os valores, conforme é apresentado nos resultados.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

3.4.1 Ensaios de retenção de água

Foi utilizado este ensaio para avaliar o percentual de retenção de água nas argamassas colantes. O ensaio de retenção de água é uma avaliação da argamassa no estado fresco, proposto pela NBR 13277 (1995), e consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um funil de filtragem (funil de Büchner adaptado), após uma sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão. A Figura 3.5 mostra o equipamento utilizado no procedimento.

Figura 3.5–Funil de Büchner adaptado para o ensaio de retenção de água



A sucção foi realizada sobre pressão controlada de 470 ± 10 mmHg e a leitura da quantidade de perda de água, em massa, após a sucção foi realizada aos quinze minutos, conforme procedimento da norma.

3.4.2 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento foi realizado conforme a NBR 14081-4 (2012), que estabelece o método para Determinação da Resistência de Aderência medida através de arrancamentos por tração simples para argamassas colantes destinadas ao assentamento de placas cerâmicas pelo método da camada fina.

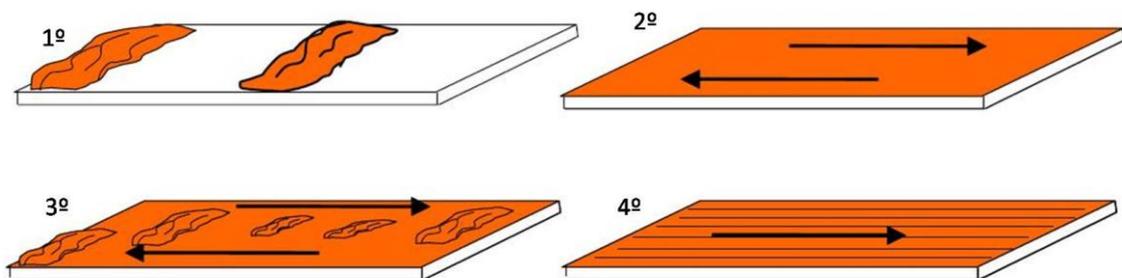
Como substrato-padrão para assentamento foi utilizado bloco de concreto conforme ilustra a Figura 3.6. A aplicação da argamassa colante sobre o substrato-padrão se deu com aplicação de uma porção de argamassa sobre uma face do substrato através de um movimento de vaivém, com uma desempenadeira, de modo a formar uma camada uniforme com espessura suficiente (cerca de 5 mm) para conformação dos cordões.

Figura 3.6 – Bloco de concreto de dimensões 14x19x39cm utilizado como substrato padrão para assentamento das placas cerâmicas.



A argamassa colante foi estendida na direção longitudinal de um substrato-padrão de concreto conforme estabelecido na NBR 14084. Na Figura 3.7 – Passos para aplicação da argamassa sobre o substrato-padrão para o assentamento das placas cerâmicas. é mostrado como se realizou a distribuição da argamassa sobre o substrato, no primeiro e segundo passo foi feita a imprimação do substrato, ou seja, a aplicação da argamassa colante com o lado liso da desempenadeira apoiado firmemente sobre a sua superfície. Após a imprimação do substrato, como mostra o terceiro e quarto passo, a argamassa colante foi aplicada sobre o mesmo com o lado liso da desempenadeira e, em seguida, realizada a formação dos cordões de argamassa com o lado denteado da desempenadeira.

Figura 3.7 – Passos para aplicação da argamassa sobre o substrato-padrão para o assentamento das placas cerâmicas.



Fonte: Costa et al., 2006 (adaptado).

O ensaio de arrancamento foi realizado com o auxílio de uma máquina Dinateste[®] (ver figura 3.8) portátil modelo DNTT-5 com indicador digital, cuja capacidade disponível é de 5 KN, eo acionador hidráulico é manual.

Na Figura 3.8 – Detalhe das placas cerâmicas assentadas antes do ensaio, da pastilha metálica e da cola instantânea utilizada no procedimento de arrancamento. é mostrado

apastilha metálica quadrada de 50x50 mm (2500mm²), que foi colada sobre a placa cerâmica com cola instantânea SuperBonder da Henkel[®] antes de realizar o arrancamento da mesma do substrato.

Figura 3.8 – Detalhe das placas cerâmicas assentadas antes do ensaio, da pastilha metálica e da cola instantânea utilizada no procedimento de arrancamento.



Na Figura 3.9 –Detalhe da disposição da máquina de arrancamento das placas cerâmicasdurante o ensaio.é apresentado o detalhe da disposição da máquina de arrancamento das placas cerâmicas durante o ensaio, além disso, é mostrada a máquina de arrancamento antes do arrancamento das placas cerâmicas, no qual o equipamento se apóia sobre um tripé e através da manivela faz a extração da pastilha metálica que foi colada na placa cerâmica.

Figura 3.9 –Detalhe da disposição da máquina de arrancamento das placas cerâmicasdurante o ensaio.



Na Figura 3.10 e Figura 3.11 é mostrado o acionamento da manivela para fazer o arrancamento da placa cerâmica do substrato, no qual fica registrada no marcador digital a força que fez com que a placa cerâmica fosse extraída.

Figura 3.10 – Realização do ensaio de arrancamento da placa cerâmica.



Figura 3.11 – Marcador digital mostrando o valor de arrancamento durante o ensaio.



Realizou-se o arrancamento das pastilhas cerâmicas após 28 dias de cura em ambiente de laboratório, num total de 70 arrancamento das placas cerâmicas de 2500 mm², sendo dez arrancamentos para cada tipo de traço desenvolvido.

3.4.3 Ensaio de compressão axial e diametral

Os corpos de prova foram moldados no formato cilíndrico com dimensões 50 x 100mm (diâmetro x altura), segundo a normalização brasileira e atendendo as especificações da NBR 13281. No qual, adotou-se esse formato no intuito de avaliar e comparar os resultados obtidos com a bibliografia técnica existente.

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios universal da *Solotest*[®] (ver Figura 3.12 e Figura 3.13) com prensa eletrohidráulica com indicador digital com capacidade para 200 toneladas força e regulada para aplicar uma carga uniforme e sem choque de 5,0N/s.

Figura 3.12 – Detalhe do ensaio de compressão axial.



Figura 3.13 – Detalhe do ensaio de compressão diametral.



Realizou-se o ensaio após 28 dias de cura, em ambiente de laboratório, dos corpos de prova cilíndricos, no qual foram rompidos 70 corpos de prova, sendo dez rompimentos para cada tipo de traço desenvolvido, tal que cinco corpos de prova para compressão axial e mais cinco para compressão diametral.

Os resultados obtidos foram calculados, conforme normatização brasileira, através da média dos valores das resistências calculadas pela equação 3.1 para compressão axial e pela equação 3.2 para compressão diametral.

$$F_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$F_{t,D} = \frac{2F}{\pi DL} \quad (\text{Equação 3.2})$$

No qual se tem F : força máxima obtida no ensaio (N), D : diâmetro do corpo de prova (mm), L : altura do corpo de prova (mm), F_c : Resistência à compressão axial (MPa), e $F_{t,D}$: resistência à tração por compressão diametral (MPa).

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

Os valores obtidos na caracterização química do cimento utilizado no desenvolvimento das argamassas seguem na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Análise química da composição do cimento

Composição	Concentração (%)	Composição	Concentração (%)
MgO	1,585	TiO ₂	1,028
Al ₂ O ₃	11,351	V ₂ O ₅	0,032
SiO ₂	35,632	Cr ₂ O ₃	0,018
P ₂ O ₅	0,345	MnO	0,028
SO ₃	4,600	Fe ₂ O ₃	3,960
K ₂ O	0,569	ZnO	0,016
CaO	40,497		

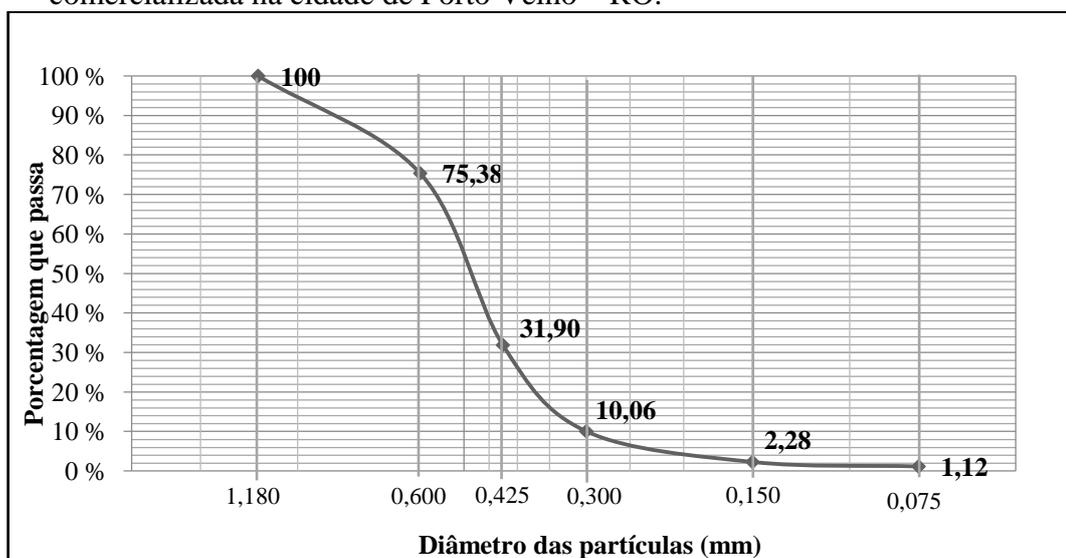
Ao comparar os valores obtidos com os estabelecido pela norma NBR 5736 (1991), que defini as especificações para o Cimento Portland pozolânico, nota-se que os valores estão dentro dos recomendados para o tipo de cimento CP-IV.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AREIAS

4.2.1 Análise granulométrica da areia

Com objetivo de conhecer a granulometria da argamassa colante industrializada produzida na região fez-se uma análise granulométrica de uma argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO, cuja curva é apresentada na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Curva granulométrica da argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO.



A partir da avaliação dos dados obtidos é possível notar que a argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO é composta por grãos com diâmetro menor de que 1,18 mm. Assim sendo, observar-se que 100% do material passaram pela peneira de diâmetro 1,18 mm, assim pode-se concluir que as partículas que compõem a argamassa devem possuir diâmetro menor que 1,18 mm.

O resultado das granulométricas tanto da areia A quanto da areia B estão dispostos na Tabela 4.2, no qual nota-se que o diâmetro máximo de ambas as areias é de 2,0 mm.. Observou-se que 6,20% da areia A e 4,32% da areia B é composta por grãos com diâmetros maior que 1,18 mm, nesse sentido se faz necessário realizar um beneficiamento da areia com o propósito de obter a granulometria com limite superior igual da argamassa colante tipo ACI comercializada na cidade de Porto Velho – RO. Ou seja, a granulometria da areia com grão de diâmetro menor que 1,18 mm.

Tabela 4.2 – Resultados das análises granulométricas das areias

Peneira ASTM	Abertura (mm)	Areia A		Areia B	
		Porcentagem acumulada	Porcentagem que passa	Porcentagem acumulada	Porcentagem que passa
#10	2,000	3,15	96,85	1,65	98,35
#16	1,180	6,20	93,80	4,32	95,68
#30	0,600	55,21	44,79	27,88	72,12
#40	0,425	73,57	26,43	69,48	30,52
#50	0,300	86,75	13,25	90,38	9,62
#100	0,150	96,65	3,35	97,82	2,18
#200	0,075	99,67	0,33	98,93	1,07

Pode-se observar a partir da análise granulométrica, de acordo com a NBR 6502:1995, que ambas as areias podem ser classificadas como areias finas, uma vez que maior parte da massa retida está compreendida entre 0,06 mm e 0,2 mm de diâmetro.

Outro parâmetro que se pode determinar baseado na análise granulométrica é o Módulo de Finura (M_F) obtido pela equação 4.1.

$$M_F = \frac{\sum(\% Ac)}{100} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde, M_f representa o Módulo de finura e $\sum(\%Ac)$ equivale a somatória das porcentagens acumuladas das aberturas das peneiras de 0,600mm, 0,300mm e 0,075mm. Assim temos respectivamente o módulo de finura da areia A (M_{fA}) e o módulo de finura da areia B (M_{fB}):

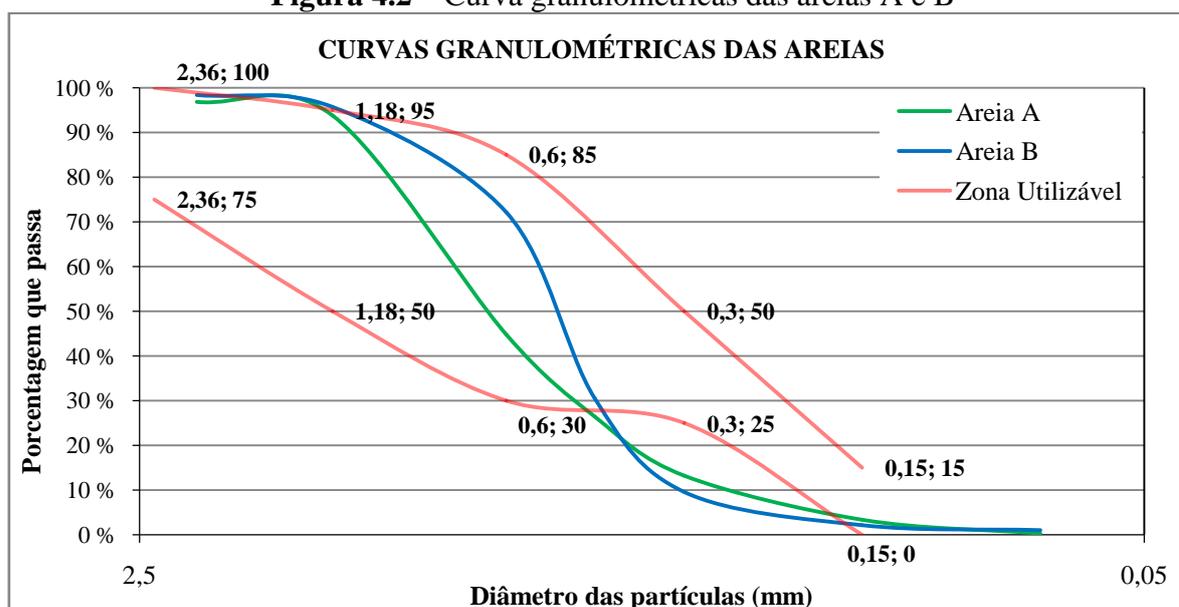
$$M_{fA} = \frac{55,21 + 86,75 + 99,67}{100} = 2,42$$

$$M_{fB} = \frac{27,88 + 90,38 + 98,93}{100} = 2,17$$

Apesar de a areia A possuir módulo de finura maior, ambas as areias podem ser classificadas, baseando-se na NBR 7211, com Módulo de Finura inferior.

Para melhor ilustrar os resultados obtidos da análise granulométrica se construiu as curvas granulométricas das areias, conforme Figura 4.2. A curva granulométrica da areia A é representada na cor verde enquanto que a curva da areia B é representada na azul, e ainda foram traçado de vermelho os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo, conforme NBR 7211.

Figura 4.2 – Curva granulométricas das areias A e B



Nota-se que a curva da areia A é mais suave que a curva da areia B, ou seja, a areia A possui uma graduação melhor que a areia B. Ainda, podem-se classificar ambas areias fina como uma areia que se encontra na zona utilizável para produção de argamassa, uma vez que a porcentagem tanto da areia A quanto da areia B encontram-se entre os intervalos da zona utilizável (traçada do vermelho na figura 4.2), ocorrendo exceção apenas na malha de 0,300 mm, cuja as curvas granulométricas das areias ficam fora do intervalo da zona utilizável.

4.2.2 Propriedades físicas das areias

Para efeitos de dosagem é imprescindível que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros dentro das partículas e excluindo-se os vazios entre elas. Nesse sentido, foram obtidos os seguintes valores como segue na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Propriedades físicas das areias

Ensaio	Método de Ensaio	Valor Obtido	
		Areia A	Areia B
Massa Unitária	NBR NM 45	1,54g/cm ³	1,49g/cm ³
Massa Específica	DNER-ME 194/98	2,65 g/cm ³	2,70 g/cm ³
Umidade Superficial	NBR 9775	0,32%	0,32%

Em função da massa específica (M_E) Tristão (2005) classifica as areias como: a) leves: $M_E \leq 2000$ kg/m³; b) normais: $2000 < M_E \leq 3000$ kg/m³; e c) pesadas – $M_E > 3000$ kg/m³. Nesse sentido, a partir das massas específicas obtidas no ensaio tanto a areia A ($M_E =$

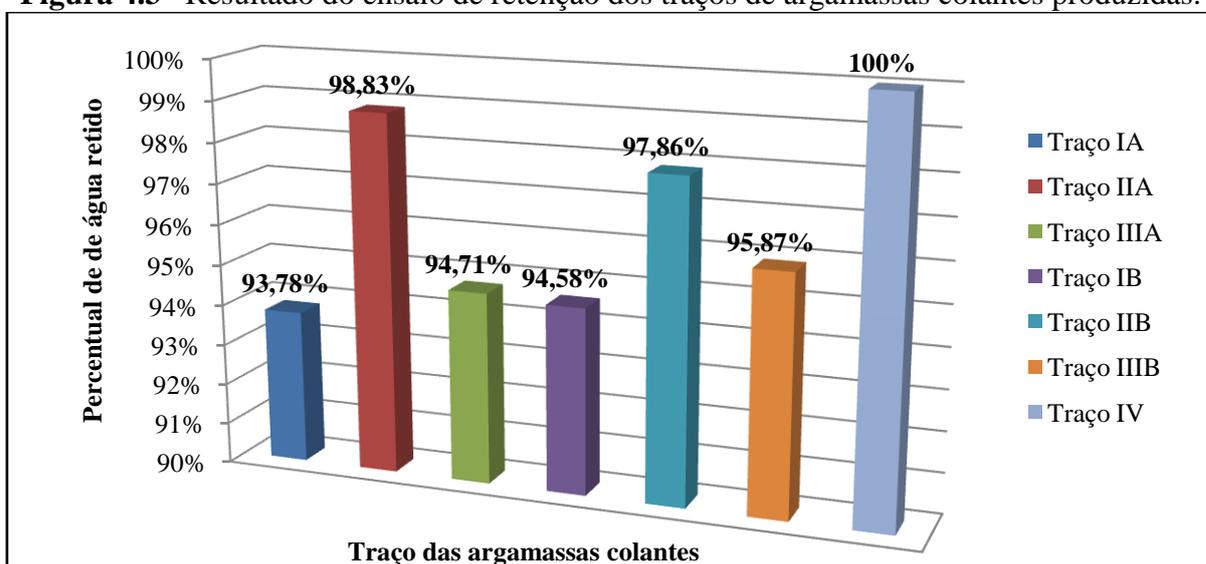
2650 Kg/m^3) como a areia B ($M_E = 27000 \text{ Kg}/m^3$) podem ser classificadas como a areia de massa específica normal.

4.3 INFLUÊNCIA DA DOSAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS

4.3.1 Comportamento no estado fresco

No estado fresco realizou-se o ensaio de retenção conforme proposto pela NBR 13277, sendo obtidos os resultados apresentados na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Resultado do ensaio de retenção dos traços de argamassas colantes produzidas.



A partir da Figura 4.3 observa-se que todas as argamassas apresentaram retenção de água superior a 90%, podendo ser classificadas, de acordo com a NBR 13281 (2001): Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos, argamassa com capacidade de retenção de água alta. O que, pode ser caracterizado por sua vez, como uma argamassa especial – Argamassa colante.

Tristão (2005) em seu estudo sobre influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas sugere uma relação direta da retenção de consistência com a retenção de água das argamassas, tal que nos três primeiros traços foi observado, mesmo sem fazer os ensaios de consistência, que a medida que foi adicionado areia na composição do traço obtinha-se uma argamassa mais consistente. No qual se elevou a consistência e o índice de retenção de água à medida que foi aumentada a proporção cimento/areia, no entanto reduziu-se a trabalhabilidade.

Com intuito de relacionar a retenção de água com a massa específica da argamassa foi criada a Tabela 4.4 que mostrada o índice de retenção de água de cada traço e a massa específica das argamassas no estado seco e fresco.

Tabela 4.4 –Índice de retenção de água e a massa específica das argamassas no estado fresco.

Traços	Índice de retenção de água (%)	Massa específica da argamassa (g/cm³)
Traço IA	93,78	1,98
Traço IIA	98,83	1,89
Traço IIIA	94,71	1,81
Traço IB	94,58	1,99
Traço IIB	97,86	1,86
Traço IIIB	95,87	1,83
Traço IV	100	2,01

Nota-se que à medida que foi aumentada a proporção de areia ocorreu um aumento da massa específica das argamassas no estado fresco, e sabe-se também, de acordo com Tristão (2005), que massa específica das argamassas tem forte correlação com o volume de vazios da areia na argamassa, sendo que quanto maior o volume de vazios na areia, menor a massa específica da argamassa. Logo, estima-se que as areias utilizadas na composição havia baixo volume de vazios.

4.3.2 Comportamento das argamassas ao arrancamento

Os resultados da tensão de ruptura por tração das placas cerâmicas estão dispostos na Tabela 4.5, no qual apresenta o valor médio (MPa) e o desvio padrão das amostras.

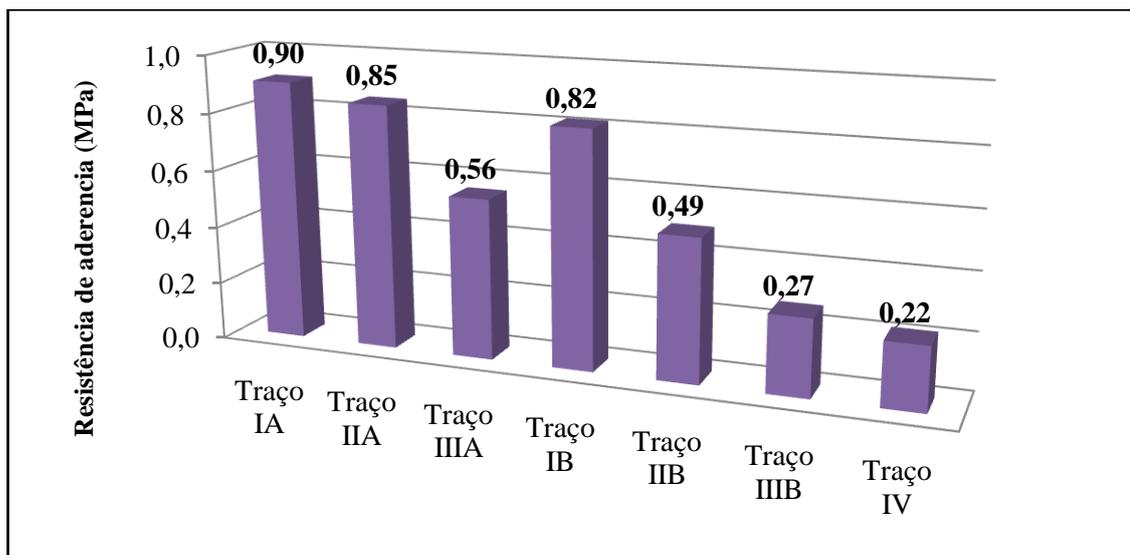
Tabela 4.5 - Resultados do ensaio de arrancamento

Traços	IA	IIA	IIIA	IB	IIB	IIIB	IV
Média	0,90	0,84	0,56	0,82	0,49	0,27	0,22
Desvio Padrão	0,09	0,06	0,05	0,07	0,03	0,03	0,02

Nota-se que os valores dos desvios padrão são pequenos, o que significa que os valores médios obtidos são confiáveis.

Na Figura 4.4 são apresentados os valores da tensão de ruptura média por tração das placas cerâmicas.

Figura 4.4 – Resultados de resistência de aderência à tração segundo a NBR 14081.



A partir dos resultados obtidos é possível evidenciar que os traços IA e IB apresentam os maiores valores de resistência de aderência à tração, contudo todos os traços da areia A e o Traço IB apresentam valores superiores aos requisitados pela NBR 14081, que estabelece valor mínimo de 0,50MPa para argamassa colante tipo ACI.

É notável, ao comparar os traços I, II e III, que à medida que se aumentou a quantidade de areia ocorreu a redução da resistência de aderência à tração.

Esperava-se também, em termos de comportamento, que argamassacomercial (Traço IV) apresentasse valores mínimos de resistência de aderência à tração conforme estabelecido por norma. Tal desempenho leva a refletir algumas hipóteses que justifique, como por exemplo, baixa quantidade de cimento, baixa quantidade de aditivo, ou ainda utilização de areia inadequada para argamassa colante.

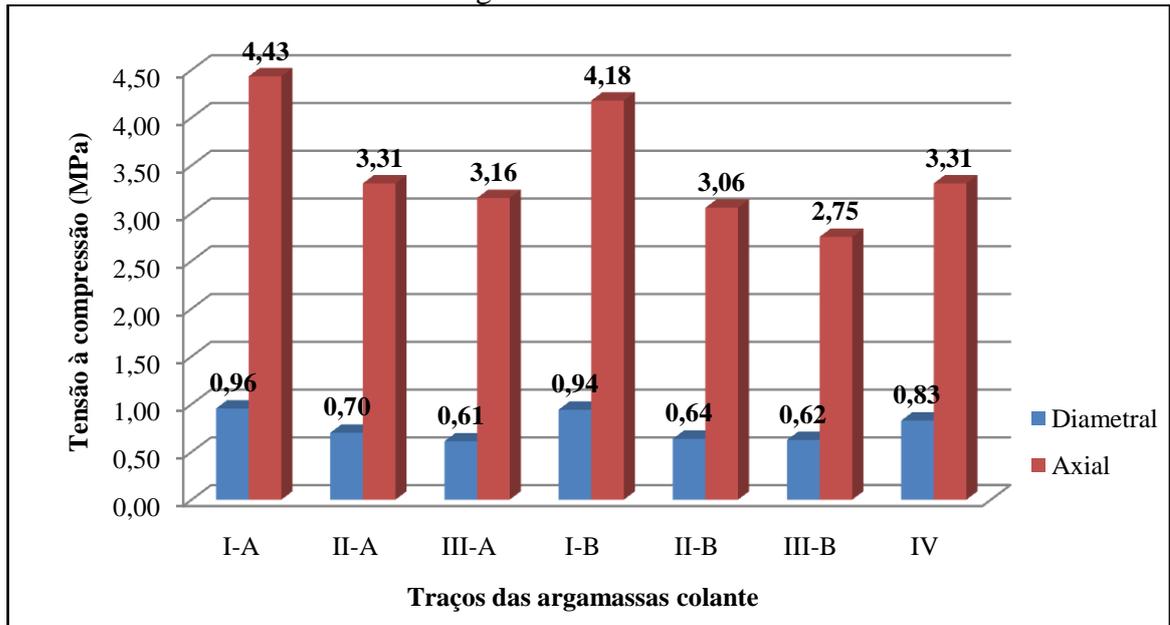
Costa et al. (2006) realizou um estudo de caracterização do comportamento das argamassas colantes no qual constatou que a maioria das argamassa (83,33%) apresentaram valores de resistência de aderência à tração superior a 0,50 MPa, valores semelhantes foram encontrados nesse estudo em argamassas realizadas com a areia A. Fato este, que faz acreditar que, provavelmente, a granulometria da areia A deve ter contribuído para o melhor desempenho na resistência de aderência à tração.

4.3.3 Comportamento das argamassas à compressão

A Figura 4.5 mostra os valores médios das tensões de compressão axial e diametral apresentadas pelas argamassas colantes e seus respectivos traços. A partir dos dados é

possível notar que apesar de as argamassas serem produzidas com areias distintas apresentam valores semelhantes à compressão nas respectivas composições de traço, tanto axialmente quanto diametralmente. Contudo, é perceptível que as argamassas desenvolvidas com a areia A apresentam um desempenho um pouco melhor que as argamassas desenvolvidas com a areia B, no que se refere à compressão.

Figura 4.5 – Tensão à compressão axial e diametral apresentada pelas argamassas no ensaio



Também observando os dados do gráfico acima, pode-se ressaltar que os traços 1:3 (I-A e I-B) apresentam melhor desempenho comparado a argamassa comercial, tal que ainda os traços 1:4 (II-A e II-B) comportam-se semelhante à argamassa comercial no que se refere à compressão axial e diametral.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados nas argamassas desenvolvidas, pode-se concluir que a areia A tem desempenho melhor na composição das argamassas quando se compara com a areia B. Vale destacar também, que apesar da argamassa comercial utilizada nesse ensaio não se apresentar adequada, conforme estabelecido pela norma de arrancamento por tração simples, as demais características são similares as argamassas desenvolvidas neste estudo.

Quanto a performance geral as argamassas desenvolvidas com traço de 1:3 (I-A e I-B) apresentaram melhores resultados, contudo economicamente o Traço II-A possui características adequadas para atender as normas para argamassa colante industrializada.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para melhor compreender o comportamento das argamassas se faz necessário realizar estudo sobre as características microscópicas e composição químicas das areias, principalmente a areia A, que fez com que as argamassas desenvolvidas com a mesma apresentassem resultados mais expressivos.

Quanto à composição do aditivo, se pode conduzir estudo reduzindo a porcentagem do aditivo para avaliar novamente as características das argamassas.

Desenvolvimento de pesquisa para produzir argamassa tipo AC II e AC III, pois estas possuem característica de melhor trabalhabilidade e resistência a ambiente externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, V. 2003, São Paulo: ANTAC, 2003.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7ªed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Cimento Portland pozolânico - Especificação - **NBR 5736**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. Rochas e solos - Terminologia - **NBR 6502**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos - **NBR 13281**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. Agregados - Determinação da composição granulométrica - **NBR NM 248**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água - **NBR 13277**. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

_____. Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio - **NBR 9775**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos - **NBR 14081**. Rio de Janeiro, 2012.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. V. 1 e 2. São Paulo: LTC, 2000.

CARDOSO, Fábio A.; PILEGGI, Rafael G.; JOHN, Vanderley M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. **ANAIS - VI SBTA**, Florianópolis, p. 121-143, 2005.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo: São Paulo, 1999.

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, Maria Alba; PILEGGI, Rafael G. Análise comparativa de argamassas colantes de mercado e o seu comportamento reológico. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, VI, In: Anais, ANTAC, Florianópolis, p. 382-394, 2006.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições Minererais. In: **53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, Florianópolis, 2011. p. 261 – 309.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - DNER-ME 198/98. Rio de Janeiro, 1998.

DETRICHE, C. H. et al. Influence des paramètres de mise en œuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. **Materials and Structures**, v. 18, n. 3, p.193-200, 1985.

FIORITO, Antonio JSI. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

KORMANN, Alessandro C. M. Ensaios de compactação e caracterização. Mecânica dos solos - Universidade Federal do Paraná, 1997. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e1/Apostila1.pdf>>. Acesso em: 12 jun 2015.

MEHTA & MONTEIRO. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Edição. IBRACON. São Paulo, 2008.

MEIER, Denis. **Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e região metropolitana**. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Concreto) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

MINEROPAR- MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: MINEROPAR, 2004.

NASCIMENTO, B. **Síntese e caracterização do sulfato de acetato de celulose, obtido do bagaço de cana-de-açúcar, para aplicação como aditivo na construção civil**. Dissertação de Mestrado, 2012, Universidade Federal de Uberlândia.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, v.738, 1982.

OLIVEIRA, Juliana. **Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de Cimento Portland**, Rio Grande do Sul, Editora Globo, 1982.

SILVA, M. R. **Materiais de construção**. 2 ed. SÃO PAULO: Pini, 1991. 267p.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Escola Politécnica: São Paulo, 2003.

SILVA, Narciso Gonçalves; CAMPITELI, Vicente Coney. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas**. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído** - ENTAC, Florianópolis, Brasil, 2006.

SUGUIO, Kenitiro. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

TAYLOR, H.F.W. **Enciclopedia de la química industrial** - La química de los cementos. Bilbao-Espanha: URMO, v.1, 1967.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência dos parâmetros textuais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIERA, J. G. **Síntese e caracterização da metilcelulose, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, para utilização como aditivo na construção civil**. Dissertação de Mestrado, 2009, Universidade federal de Uberlândia.

WAGNER, H. B. Polymer modification of Portland cement systems. **Chemical Technology**, Feb., p.105-108, 1973.