

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS
(CEATEC)
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA
URBANA

OSVALDO PISSOLATO JR.

ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
UTILIZANDO AREIA PROVENIENTE DA
BRITAGEM DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO
CIVIL

CAMPINAS

2016

OSVALDO PISSOLATO JR.

ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
UTILIZANDO AREIA PROVENIENTE DA
BRITAGEM DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO
CIVIL

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnológicas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Professora Dra Lia Lorena Pimentel

Coorientadora: Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila Jacintho

PUC-CAMPINAS

2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

T690 PISSOLATO JUNIOR, OSVALDO.
P678A ARGAMASSA DE REVESTIMENTO UTILIZANDO AREIA PROVENIENTE DA
BRITAGEM
DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL / OSVALDO PISSOLATO JUNIOR. - CAMPINAS:
PUC-CAMPINAS, 2016.
91p.

Orientadora: Lia Lorena Pimentel. Coorientadora: Ana Elisabete Paganelli Guimarães Avila Jacintho.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Inclui anexo e bibliografia.

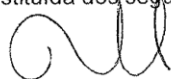
1. Construção civil. 2. Argamassas (Materiais de construção). 3. Argam-

OSVALDO PISSOLATO JUNIOR

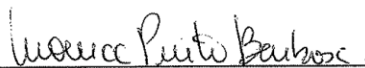
**ARGAMASSA DE REVESTIMENTO UTILIZANDO AREIA
PROVENIENTE DA BRITAGEM DE RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Lia Lorena Pimentel.

Dissertação defendida e aprovada em 06 de junho de 2016 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Mônica Pinto Barbosa
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz
Universidade Estadual de Campinas

AGRADECIMENTOS

Em especial à Profª Dra. Lia Lorena Pimentel, pela sua orientação, pela sua dedicação e paciência em transmitir seus conhecimentos e experiências.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, em conceder bolsa de Capacitação de Professores.

À Direção do Mestrado do Sistema de Infraestrutura Urbana, Prof. Dr. Alexandre Mota.

Ao Diretor do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnológicas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Prof. Dr. Ricardo Luis de Freitas.

Aos Diretores das Faculdades de Arquitetura e Urbanismo, Prof Me. Fabio de Almeida Muzzeti e Engenharia Civil da Puc-Campinas, Profª Dra. Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Ávila Jacintho

À FAPESP, pelo Projeto de Auxílio nº 2014/20486-8 que permitiu financiar os equipamentos necessários às pesquisas realizadas.

A todos os professores do Mestrado que, direta ou indiretamente, transmitiram seus conhecimentos e me incentivaram.

A todos os meus colegas professores do CEATEC que me ajudaram e incentivaram.

Aos funcionários administrativos do Mestrado.

Aos funcionários do Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Engenharia Civil da Puc-Campinas.

Às Bibliotecárias e funcionárias da Biblioteca da Puc-Campinas.

Aos meus amigos e amigas externos que me ajudaram e incentivaram.

Aos meus familiares e a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram e incentivaram.

RESUMO

PISSOLATO Jr., Osvaldo Argamassa de revestimento utilizando areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil, 2016, 91f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

O grande descarte de rejeitos da construção civil, em função das reformas e demolições como também do desperdício gerado pela baixa qualidade da mão de obra, faz da indústria da construção civil uma das grandes poluidoras do meio ambiente. Nas últimas décadas, vem-se obrigando o recolhimento organizado dos entulhos e sua reciclagem por meio da imposição das leis ambientais, de modo que a construção civil, paulatinamente, tem-se disciplinando no sentido de autogerir os seus descartes. Estudos vêm se intensificando com o objetivo de se repensar o reaproveitamento dos resíduos da construção civil, por meio do processo de reciclagem, no sentido de desenvolver normas para produção, avaliação e utilização dos agregados reciclados, de modo a aumentar seu consumo, tornando economicamente viável a sua produção. Esta pesquisa parte do pressuposto de que o agregado miúdo proveniente da britagem de resíduo de construção e demolição pode substituir o agregado miúdo de origem natural na produção de argamassas para revestimentos. Todavia, a questão com a qual se deparava era até que ponto seria possível fazer a substituição destes materiais de modo que o resultado na prática fosse viável técnica e economicamente, aumentando assim, a chance de emprego desses agregados reciclados. Com o objetivo de analisar as influências dos agregados miúdos oriundos dos resíduos de construção civil (RCC), em substituição ao agregado miúdo natural na produção de argamassas hidráulica e mista para revestimentos de paredes e tetos, empregou-se a metodologia experimental para verificar a influencia do teor de finos do agregado reciclado nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. As argamassas preparadas também foram classificadas conforme a NBR 13281:2005 e avaliadas quanto a aderência, fissuração e permeabilidade após aplicação em alvenaria de bloco. Para tanto, optou-se por estudar a substituição do agregado natural pelo de RCC nas proporções de 30%, 60% e 100%, em proporções de mistura de argamassa mista e hidráulica, cuja finalidade seria a aplicação como emboço paulista. Conforme análise e discussão dos resultados pôde-se constatar que, nos ensaios, tanto no estado plástico quanto no estado endurecido, as argamassas produzidas com reciclado, nos três traços em estudo, tiveram um desempenho satisfatório, em relação ao traço referência. Entretanto, os resultados não foram satisfatórios nos ensaios de aplicabilidade, visto que sua performance ficou abaixo do índice mínimo estabelecido pela norma. Os resultados, todavia, sugerem encaminhamento para novos estudos no sentido de continuar repensando o paradigma da produção industrial para que este seja alicerçado num modelo de desenvolvimento sustentável favorável à preservação ambiental.

Palavras chave: Agregado reciclado, Argamassa, Revestimento, Resíduo de construção

ABSTRACT

PISSOLATO Jr., Osvaldo. Coating mortar using sand from the construction waste crushing, 2016, 91f. Dissertation (Master Degree of Systems Urban Infraestrura) – Pós Graduate Program in Urban Infrastructure Systems - Pontifical Catholic University of Campinas. Campinas, 2016.

The large disposal of construction waste, due to the renovations and demolitions as well as the waste generated by the low quality of labor, makes the construction industry one of the major polluters of the environment. In recent decades, comes to forcing organized gathering of rubble and its recycling through the enforcement of environmental laws, so that the construction industry there have disciplining towards self-manage their disposal. Studies have been intensifying to rethink the reuse of construction waste, through the recycling process, to develop standards for production, evaluation and use of recycled aggregates in order to increase their consumption, making it economically feasible to produce. This research assumes that the fine aggregate derived from the crushing of construction and demolition waste can replace the natural fine aggregate in the production of mortars for coatings. However, the issue that was faced was to what extent it would be possible to replace these materials so that the result in practice was technically and economically feasible, thereby increasing the chance of use of these recycled aggregates. In order to analyze the influence of fine aggregates derived from civil construction waste (CCW), replacing fine aggregate in the production of hydraulic and mixed mortars for wall coverings and ceilings, we used the experimental methodology to verify the influence of fines content of recycled aggregate in the mortar properties in fresh and hardened state. The prepared mortars were also classified according to NBR 13281: 2005 and evaluated for adhesion, cracking and permeability after application on masonry of concrete blocks. Therefore, we chose to study the replacement of natural aggregate by the CCW in rates of 30%, 60% and 100%, in proportions of admixture and mixed hydraulic mortar, whose purpose would be to apply as monolayer coating mortar. As analysis and discussion of the results could be seen that, in tests, both plastic and hardened state, the mortar produced with recycled aggregate, the three mixing ratios in the study had a satisfactory performance in relation to admixture reference. However, the results were not satisfactory in applicability tests, since its performance was below the minimum rate set by the standard. The results, however, suggest referral to further studies in order to continue rethinking the paradigm of industrial production so that it is founded on a model of sustainable development in favor of environmental preservation.

Keywords: Recycled aggregate, mortar, coating, construction waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% da massa total)	21
Figura 2. Curvas granulométricas do agregado reciclado (AR) e da areia de cava (A_{cava})	47
Figura 3. Planejamento Experimental	48
Figura 4. Equipamento para determinação da Retenção de água	51
Figura 5. Dispositivos para ensaio no estado endurecido	52
Figura 6. Determinação da capacidade de absorção de água por capilaridade	52
Figura 7. Parede de bloco de concreto.	54
Figura 8. Marcação de fissuras aos 7 dias.	55
Figura 9. Cachimbo de vidro graduado.	56
Figura 10. Aparelho para ensaio de arranchamento	56
Figura 11. Massa Específica no estado plástico	59
Figura 12. Linhas de Tendência e coeficiente de correlação para Massa Específica	60
Figura 13. Retenção de Água para as argamassas hidráulica e mista.	62
Figura 14. Retenção de água x Teor de finos	62
Figura 15. Teor de Ar Incorporado para as argamassas Hidráulicas e Mistadas.	63
Figura 16. Densidade de Massa Aparente para argamassas Hidráulicas e Mistadas	65
Figura 17. Correlação entre Teor de Finos e Densidade de Massa Aparente	66
Figura 18. Resistência à Tração na Flexão	67
Figura 19. Gráficos de correlação para resistência a tração na flexão.	68
Figura 20. Resistência a compressão.	68
Figura 21. Coeficiente de Capilaridade	71
Figura 22. Teor de finos x Coeficiente de Capilaridade	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos Resíduos de construção.....	22
Tabela 2. Composição dos resíduos de construção em Porcentagem.	26
Tabela 3. Caracterização da argamassa industrializada	36
Tabela 4. Principais Vantagens e Desvantagens do Uso da Argamassa Preparada em Obra e Industrializada.....	36
Tabela 5. Características Físicas dos agregados	46
Tabela 6. Traço unitário em volume.	49
Tabela 7. Traços Unitários em massa.....	50
Tabela 8. Delineamento experimental do número de repetições/amostras.....	53
Tabela 9. Resultados de massa específica.....	58
Tabela 10. Coeficientes de Correlação (R^2)entre Teor de Finos e variáveis no estado plástico	60
Tabela 11. Índice de Consistência.....	61
Tabela 12. Coeficientes de correlação entre Teor de Finos e variáveis no estado endurecido (R^2)	64
Tabela 13. Resultados dos ensaios de determinação da Densidade de Massa Aparente.....	64
Tabela 14. Resultados dos ensaios de Tração na Flexão.....	66
Tabela 15. Resultados dos ensaios de Resistencia a Compressão.	69
Tabela 16. Resultados dos ensaios de determinação do Coeficiente de Capilaridade.....	72
Tabela 17. Resumo das classificações das argamassas conforme NBR 13281:2005.....	74
Tabela 18. Índice de Fissuras (cm/m^2).....	75
Tabela 19. Índice de Fissuras aos 7 dias – segundo ensaio (cm/m^2).....	75
Tabela 20. Resultados de permeabilidade pelo método do cachimbo	76
Tabela 21. Ensaio de aderência para a argamassa hidráulica referência-parede	78

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Justificativa	11
1.2. Hipóteses	12
1.3. Objetivo Geral	13
1.3.1. Objetivos específicos	13
1.4. Estrutura da Dissertação	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Sustentabilidade na Indústria da Construção Civil	15
2.1.1. Políticas Públicas dos resíduos sólidos no Brasil	16
2.1.2. Políticas Públicas sobre resíduos sólidos do Estado de São Paulo 18	
2.2. Resíduos de construção civil	19
2.3. Agregados Reciclados	24
2.4. Argamassa para revestimentos	28
2.4.1. Tipos de argamassa de revestimentos	31
2.5. Argamassa com agregados reciclados	38
3. MATERIAIS e METODOS	44
3.1. Materiais	45
3.1.1. Caracterização dos agregados	46
3.2. Delineamento da pesquisa	47
3.3. Metodologia de Análise dos Resultados	57
4. RESULTADOS	58
4.1 Características no estado plástico	58
4.1.1. Massa Específica	58
4.1.2. Consistência	60
4.1.3. Retenção de Água	61
4.1.4. Teor de Ar Incorporado	63

4.2	Características no estado endurecido	64
4.2.1	Densidade de Massa Aparente no estado endurecido	64
4.2.2	Resistência à tração na flexão.....	66
4.2.3	Resistência à compressão.....	68
4.2.4	Coeficiente de capilaridade	71
4.3	Características na condição de aplicabilidade	74
4.3.1.	Índice de Fissuras.....	75
4.3.2.	Absorção de água pelo método do cachimbo	76
4.3.3.	Resistencia de aderência à tração.....	77
5.	CONCLUSÕES	79
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO I	89

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento social e econômico das nações, tendo em vista o bem-estar humano, hoje, passa obrigatoriamente pelas questões ambientais e de sustentabilidade.

Segundo Santos et al. (2010), buscar equilíbrio entre a produção e a preservação ambiental tornou-se uma premissa básica de qualidade de vida e da preservação do planeta para as futuras gerações. O bem-estar humano está diretamente dependente do manejo dos recursos naturais para que sejam suficientes para todos.

A degradação ambiental causada pela industrialização nos países mais desenvolvidos vem gerando impactos ambientais advindos do processo de extrativismo e pela deposição dos resíduos da produção.

Até a década de 70, o mundo assistia a sua deterioração ambiental de forma passiva. Mas, gradativamente, reuniões mundiais se sucederam e a conscientização desta deterioração provocou buscar justamente o equilíbrio entre a produção e a preservação ambiental e, sob este enfoque, a economia gerada pelo reaproveitamento desses materiais, passa a ser uma questão relevante nos dias atuais.

Apesar de constituir uma alavanca importante para o desenvolvimento social e econômico do homem, a indústria de construção civil gera impactos negativos, extremamente danosos ao meio ambiente, tornando-se uma das grandes poluidoras do meio ambiente. Do ponto de vista social, ela ocupa lugar destaque no que diz respeito ao impulso do progresso de uma nação e, do ponto de vista econômico, a construção civil representa um dos tripés da economia na geração de empregos, na produção e consumo de bens.

Segundo Ângulo e Figueiredo (2011), o concreto é o material industrial mais consumido pelo homem, os seus constituintes, tanto a matéria prima para a produção do cimento como os agregados usados na produção do concreto, apesar de extremamente abundantes no planeta, são materiais não renováveis e, portanto, finitos.

A indústria de construção civil colabora de forma intensa no processo de deterioração do meio ambiente por conta da própria complexidade do processo

construtivo e da grande quantidade de descartes gerados. Em relação à complexidade do processo construtivo, este é um complicador a mais nas questões ambientais, pois, de acordo com Gaede (2008 apud SANTOS et al., 2010), todas as etapas do processo construtivo, tais como: extração da matéria-prima, produção de materiais, construção, utilização e demolição, causam impactos ambientais que afetam direta ou indiretamente os aspectos vinculados à segurança e ao bem-estar da população; às atividades sociais e econômicas; à biota; às condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Por sua vez, o descarte dos materiais utilizados na construção civil torna-se outro grande complicador, tendo em vista as sobras ou rejeitos constituídos por todo material oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo adotado na obra nova ou de reformas, como também das demolições de pavimentos rodoviários de concreto ou obras que chegaram ao final de sua vida útil ou ainda devido ao desperdício gerado pela baixa qualificação da mão de obra.

No entender de Agopyan (2013):

“A construção civil é a maior consumidora no mundo de matérias primas naturais entre os setores industriais. Esse consumo estima-se de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o consumo de água. Para cada ser humano, são produzidos 500 (kg) de entulho por ano, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano. Esses dados fazem da construção civil a indústria mais poluente do planeta”.

Agopyan (2013), ainda destaca que, o impacto da indústria no meio ambiente não está restrito à extração da matéria-prima, envolve tudo, desde a exploração da matéria prima até sua utilização e desmonte, que gera o entulho.

Ainda segundo Gaede (2008 apud SANTOS et al. 2010), além do descarte de resíduos sólidos da construção e demolição que gera impactos ambientais extremamente negativos, seja este descarte autorizado ou clandestino, a população deposita junto a esses resíduos o lixo doméstico, entre ele os resíduos orgânicos, o que contribui ainda mais para a degradação

do meio ambiente pois inviabiliza a reciclagem da fração mineral do entulho. A deposição irregular gera também abrigo e umidade adequada para proliferação dos insetos e ratos, o que acaba por engendrar condições favoráveis à proliferação de vetores de doenças infecto-contagiosas.

Ângulo e John (2006) apontam que a existência de materiais como plásticos, asfaltos, pinturas, selantes, madeira tratada, compósitos de fibras orgânicas, lâmpadas fluorescentes, baterias, equipamentos elétricos, carpetes, telhas de cimento amianto, pisos laminados, resinas, resíduos de poda e capina, matéria orgânica, soldas e componentes a base de gesso torna possível a contaminação do solo e recursos hídricos.

Esta mesma preocupação com o meio ambiente também passa a existir no Brasil, onde foram criadas leis visando reduzir os impactos gerados pela indústria da construção civil para atender aos objetivos de cunho ambiental. Gradativamente a partir de 1996, seguindo as orientações do CIB (*Council for Research and Innovation in Building Construction*), o governo federal instituiu o PBQP-H “Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Hábitat” com a finalidade de difundir os novos conceitos de qualidade, gestão e organização da produção, indispensáveis à modernização e competitividade das empresas brasileiras, (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015)

No Estado de São Paulo, no mesmo ano, o governo estadual lançou o Programa da Qualidade da Construção Habitacional (QUALIHAB). Este programa tinha como objetivo atender ao direito das famílias de baixa renda a uma moradia de boa qualidade e durabilidade compatível com os financiamentos e, também, à possibilidade de expansão da moradia caso a família moradora necessitasse. Para tanto, os empreendimentos habitacionais, a partir de então, deveriam incorporar as características dos diferentes climas, topografias e culturas regionais por meio de técnicas construtivas viáveis econômica e ambientalmente (SÃO PAULO, 1996).

Por sua vez, o município de Campinas tem demonstrado preocupação com os cuidados necessários em relação aos resíduos sólidos da construção civil. Assim, visando disciplinar o manejo destes materiais, conforme orientações contidas na resolução CONAMA 307 (Brasil, 2002), o município promulgou a Lei 13.508, de 22/12/08, e o Manual de Obras Públicas Sustentáveis (MUNICÍPIO DE CAMPINAS, 2013).

É importante destacar que todas as recomendações que o Ministério do Meio Ambiente faz por meio de resoluções e as leis nacionais estaduais e municipais relativas ao gerenciamento dos resíduos sólidos têm o objetivo comum de que se cumpram as seguintes prerrogativas:

- Não geração de resíduos,
- Redução da geração,
- Reutilização,
- Reciclagem e
- Disposição final adequada dos rejeitos.

Tendo em vista toda a problemática que envolve a indústria de construção civil, é importante também lembrar que várias são as ações governamentais, amparadas na legislação ambiental, implementadas visando exigir, no mínimo, a coleta do entulho e seu beneficiamento nas usinas de reciclagem, com o objetivo de desenvolver mecanismos que visem minimizar os fatores nocivos causados pelo descarte dos resíduos sólidos da construção civil ao meio ambiente.

Também, vale destacar as ações não governamentais, as quais são sempre bem-vindas quando se trata de buscar qualidade do meio ambiente. Neste sentido, a instituição do padrão de qualidade de produção, conforme a qualificação ISO 14.000, tem sido uma motivação voluntária por parte dos empreendedores, calçada numa política correta no que se refere ao conjunto de ações que visam à qualificação da obra.

De acordo com Careli (2012), a qualificação envolve de modo mais amplo a questão da sustentabilidade na construção civil, que, por sua vez, envolve uma abordagem amplificada na gestão de empreendimentos pela busca dos processos de certificação ambiental voluntários.

Ainda, a partir de 2007, abriram-se espaços para as certificações *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e Alta Qualidade Ambiental (AQUA). Pode-se observar, assim, a repercussão favorável destas medidas em relação à gestão dos resíduos, notadamente, porque os empreendedores passaram a buscar soluções, além das necessárias à certificação, como as que impliquem em não saturar os aterros sanitários precocemente, ações essas legítimas no processo de valorização do empreendimento.

Toda essa problemática vem de encontro com a proposta desta pesquisa que visa repensar o reaproveitamento dos resíduos sólidos descartados na construção civil que são, conforme exposto, extremamente danosos ao meio ambiente. Acredita-se na importância de se buscar ampliar a aplicação dos agregados que são gerados pelo processo de reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil. À medida que se aumenta o consumo destes agregados reciclados, viabilizam-se economicamente as unidades recicladoras.

1.1. Justificativa

Os estudos desenvolvidos no Brasil, mais acentuadamente na década de 2000, sobre reciclagem dos resíduos da construção civil e demolição (RCC), mostram que há uma oportunidade interessante no estudo da produção de argamassa de revestimento utilizando areia proveniente da britagem de RCC.

Conforme dados apresentados por Pinto (1999 apud MIRANDA e SELMO, 2001), é gerada, anualmente, no Brasil, 0,52 tonelada de entulho por habitante. Na Região Metropolitana de Campinas, com população de cerca de 3 milhões de pessoas, a geração de entulho passa a ser significativa com aproximadamente 1,5 milhões de toneladas de RCC, material que é passível de ser reciclado. Conseqüentemente, se estes resíduos fossem processados para geração de agregados, a quantidade de agregado natural extraído para aplicação em construção seria reduzida, diminuindo também os impactos ambientais decorrentes da exploração de jazidas.

Vale ressaltar também que a Resolução nº 307 (BRASIL, 2002) exige que os resíduos gerados sejam processados em usinas de reciclagem, passando por um processo de triagem, de forma que os materiais produzidos sejam passíveis de reciclagem.

A tentativa de produção de argamassa de revestimento utilizando areia proveniente da britagem de RCC é a proposta deste estudo, visando a possibilidade de baratear custos da construção civil e, ainda, reduzir o extrativismo de areia natural, minimizando agressão ao meio ambiente, o que está voltada para uma ação ambiental correta.

Enfim, pelo crescimento expressivo da quantidade do descarte de resíduos da construção civil, abre-se ainda a possibilidade do emprego desses agregados reciclados em escala industrial e artesanal.

Os insumos utilizados na construção civil provem de recursos naturais, que segundo Ângulo e Figueiredo (2011), são abundantes na natureza, porém, Silva, Brito e Dhir (2015), citam que na Europa já é sentida a escassez dos insumos necessários para a fabricação dos materiais necessários para a construção civil. Concomitantemente a essa escassez de recursos naturais, de acordo com EUROSTAT (2012 apud Silva ET al., 2015), a quantidade total de resíduos gerados na UE, em 2012, foi mais de 2,5 bilhões de toneladas, 34% dos quais resultantes da construção e as atividades de demolição. Isso indica claramente a necessidade de se ampliar o consumo desses resíduos na forma de agregados, substituindo os agregados naturais.

Assim, ao pesquisar sobre o reaproveitamento dos resíduos sólidos descartados na construção civil, esta pesquisa propicia discutir, concomitantemente, o valor técnico, estético, ético e político destes descartes.

1.2. Hipóteses

Como já se expôs anteriormente, os resíduos gerados do RCC devem segundo a lei ser processados em usinas de reciclagem, passando por um processo de triagem, de forma que os materiais produzidos sejam passíveis de reuso. Dentre esses materiais passíveis de reuso, há os chamados agregados miúdos que resultam de um processo de transporte, triagem e britagem do entulho recolhido no espaço urbano.

Agregados miúdos, conforme a NBR 7211 (ABNT 2005), são

“agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,150 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”.

Este trabalho parte do pressuposto de que o agregado miúdo proveniente da britagem de resíduo de construção e demolição, classificado segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como classe A, pode substituir o agregado miúdo de origem natural na produção de

argamassas hidráulica e mista para revestimento. Todavia, a questão com a qual se depara é até que ponto é possível fazer a substituição destes materiais de modo que o resultado na prática seja viável técnica e economicamente, aumentando assim a chance de emprego desses agregados reciclados em escala industrial e artesanal.

1.3. Objetivo Geral

Visando buscar novas possibilidades para a utilização dos resíduos da construção civil e demolição (RCC), por meio do processo de reciclagem, o presente trabalho tem como objetivo verificar a utilização do agregado reciclado miúdo na produção de argamassas de revestimento para aplicação das mesmas nas construções.

1.3.1. Objetivos específicos

Este estudo tem o objetivo específico de analisar a influência do teor de material pulverulento do agregado reciclado miúdo nas propriedades das argamassas no estado fresco, endurecido e na condição de revestimento aplicado em camada única, sendo analisados dois tipos de argamassa, a hidráulica e a mista.

Faz parte deste processo também, analisar e classificar as argamassas produzidas segundo os requisitos da norma NBR 13281:2005 (ABNT, 2005).

1.4. Estrutura da Dissertação

Desta forma, este trabalho está organizado em 7 capítulos.

No Capítulo 1, são expostas as considerações iniciais a respeito da importância deste estudo, apresenta-se o delineamento do problema a partir da questão de pesquisa proposta, bem como as justificativas, a hipótese e os objetivos estabelecidos para seu desenvolvimento.

No Capítulo 2, é apresentada uma síntese do uso da argamassa como revestimento das construções ao longo da história. Também, neste capítulo, são abordadas questões relacionadas à aplicabilidade da argamassa no mundo moderno do ponto de vista ambiental, da economia e do desenvolvimento técnico-profissional, ou seja, da sustentabilidade que visa garantir equilíbrio entre desenvolvimento humano e meio ambiente. Neste contexto, torna-se

necessário situar, num primeiro momento, as diferentes políticas públicas que vêm sendo implementadas, principalmente nas últimas décadas, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental gerado pela indústria da construção civil que faz dela a grande poluidora do meio ambiente.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia para o desenvolvimento do trabalho. E, no Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos ensaios.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e considerações finais bem como as possibilidades de continuidade do trabalho. No capítulo 6, são apresentadas sugestões para estudos futuros. E, no Capítulo 7, são apresentadas as referências bibliográficas e anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sustentabilidade na Indústria da Construção Civil

As primeiras discussões sobre sustentabilidade se deram no início dos anos 70, baseadas em uma série de publicações-chave que apontavam a intervenção humana como responsável pela velocidade da deterioração dos recursos ambientais, enfocando o desenvolvimento econômico e o crescimento da preocupação global quanto aos objetivos do desenvolvimento e limitações ambientais (FOSSATI, 2008).

Em 1971, o “Clube de Roma”, um grupo de pesquisadores sob a liderança de Dennis Meadows, publicou um relatório intitulado “Os limites do crescimento”, que apresentava os resultados de suas pesquisas que previam que, no século XXI, a humanidade enfrentaria grandes problemas de escassez de recursos naturais e de poluição se fossem mantidos os mesmos níveis de crescimento populacional e de utilização de recursos naturais. A partir daí, a comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU promoveu uma série de conferências, sendo a primeira em 1972 - Conferência de Estocolmo - com o objetivo de discutir o dilema: proteção ambiental versus desenvolvimentismo.

Toda a década de 80 foi marcada por importantes convenções globais nas quais passaram a serem definidas metas ambientais. Em 1987, a ONU retomou o debate das questões ambientais e indicou a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland para chefiar a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que tinha o objetivo de estudar o assunto. O documento final desses estudos chamou-se Nosso Futuro Comum, também conhecido como Relatório Brundtland. Este relatório trouxe o termo “Desenvolvimento Sustentável”, o qual passou a ser definido como o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações, (WEINSTOCK; WEINSTOCK, 2000).

A partir desse período, outras reuniões mundiais foram se sucedendo, dentre elas pode-se citar a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento ECO-92, no Rio de Janeiro (1992), Conferência das Nações

Unidas (Istambul, 1996) e o Protocolo de Kyoto (1997). Como decorrência, a noção de desenvolvimento sustentável imprimida nestas Conferências avançou para todos os setores da sociedade.

Para a indústria da construção civil, durante a Conferência de Istambul em 1996, foi produzida a “Agenda Habitat II”, que serviu de base para que, no Congresso Mundial da Construção na Suécia (1999), fosse publicada a Agenda 21 para a construção sustentável. Este documento apresentava três objetivos principais para a Construção Sustentável:

- ✓ Criar uma estrutura de abordagem e terminologia que adicione valor às agendas nacionais ou regionais e sub-setoriais;
- ✓ Criar uma agenda para atividades locais realizadas pelo CIB (*Council for Research and Innovation in Building Construction*) e pelas suas organizações internacionais, suas parceiras;
- ✓ Criar um documento fonte para a definição de atividades de I&D (WEINSTOCK; WEINSTOCK, 2000).

2.1.1. Políticas Públicas dos resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, em 1996, seguindo as orientações do CIB, o governo federal instituiu o PBQP-H (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HÁBITAT), com a finalidade difundir os novos conceitos de qualidade, gestão e organização da produção, indispensáveis à modernização e competitividade das empresas brasileiras (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015).

No mesmo ano, o governo do estado de São Paulo lançou o Programa da Qualidade da Construção Habitacional (QUALIHAB), instituído pelo Decreto N.º 41.337 para garantir um trabalho de melhoria contínua na produção do habitat e direcionado principalmente para os empreendimentos do CDHU (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO, SÃO PAULO, 1996).

Novas medidas para atender às diretrizes da Agenda 21 foram tomadas para a gestão dos resíduos da construção civil.

A apenas na década seguinte, quando o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução 307 de 2002, estabeleceu diretrizes,

critérios e procedimentos partir dos anos 70, vale destacar, a construção civil ganha bastante impulso com o crescimento das cidades e, conseqüentemente, há um aumento dos resíduos da construção e demolição, o chamado RCC, que passa a ser um problema grave nos centros urbanos. Todo o entulho gerado era comumente depositado nas calçadas ou jogado nos vales dos córregos, terrenos baldios, enfim, descartado impunemente ao longo da cidade. Dessa forma, o RCC passa a constituir-se em importante questão ambiental a ser debatida e, portanto, pauta de políticas públicas.

Nesse sentido, com o intuito de disciplinar o recolhimento e o despejo dos descartes, o poder público cria ações necessárias, como as estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307 de forma a minimizar os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil. Entretanto, durante uma década, pouquíssimos municípios implantaram as orientações especificadas por este órgão.

Somente em 02 de agosto de 2010, o Governo Federal publica a Política Nacional de Resíduos Sólidos, pela Lei 12.305, a qual define a responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos aos geradores e agentes públicos. Essa política reúne os princípios, as diretrizes, os objetivos, os instrumentos, as metas e as ações a serem adotadas pelo Estado, Distrito Federal, Municípios e entes privados, visando à gestão integrada e o gerenciamento ambiental adequado aos resíduos sólidos, e institui a obrigatoriedade pela execução de planos Nacional, Estadual e Municipal de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A referida Lei 12.305 estabelece também a hierarquia na gestão de resíduos indicando a ordem de prioridade de ações que deverá ser seguida:

- ✓ Não geração de resíduos,
- ✓ Redução da geração,
- ✓ Reutilização,
- ✓ Reciclagem e
- ✓ Disposição final adequada dos rejeitos.

Sem dúvida, tais medidas representam um avanço na cultura do recolhimento do RCC.

2.1.2. Políticas Públicas sobre resíduos sólidos do Estado de São Paulo

Vale a destacar o pioneirismo do estado de São Paulo no tocante às Políticas Públicas dos resíduos sólidos. Por vivenciar, principalmente na década de setenta, o crescimento urbano e econômico e, conseqüentemente, sofrer os impactos gerados pela expansão da construção civil, o poder público se mobiliza em busca de alternativas que visam regulamentar o grande volume de descarte de resíduos. Assim, como se verifica na literatura em questão, São Paulo se antecipa em relação ao governo federal.

Em 1999, na cidade de São Paulo, a interessante experiência, na região norte do município, de Gentil Ferraz, transportador privado de RCC, que fazia a triagem de madeiras, plásticos e outros materiais da massa total de resíduos coletados, inspirou a construção de uma política municipal para os RCC, a partir da qual, foram criadas mais áreas com a finalidade de depositar e separar os resíduos, que passaram a se denominar de Área de Transbordo e Triagem (ATT) (SCHNEIDER; PHILIPPI, 2004).

Já, em 2006, antes de o Governo Federal publicar a Política Nacional de Resíduos Sólidos, pela Lei 12.305/2010, que definia a responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos aos geradores e agentes públicos, São Paulo instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos, a partir da Lei nº 12.300/2006, definindo princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2006).

No município de Campinas, a política de gestão dos resíduos sólidos também vem sendo disciplinada conforme orientações contidas no Manual de Obras Públicas Sustentáveis (CAMPINAS, 2013) e com a promulgação de Leis municipais como, por exemplo, a Lei 13.508, de 22/12/08, que autorizou a Prefeitura a celebrar com o Governo do Estado de São Paulo convênio para a municipalização do Licenciamento e Fiscalização Ambiental de Atividades e Empreendimentos de Impacto Ambiental Local (MUNICÍPIO DE CAMPINAS, 2008). Com essa lei, o resíduo passa a ser recolhido obrigatoriamente e

encaminhado para as usinas beneficiadoras e não mais descartado aleatoriamente.

Com o intuito de fiscalizar as ações do recolhimento e destino do entulho gerado, cria-se, adicionalmente, a Lei 10.841, de 24/05/01, que dispõe sobre a Criação do Sistema de Administração da Qualidade Ambiental e de Proteção dos Recursos Naturais e Animais do Conselho Municipal de Meio Ambiente (MUNICÍPIO DE CAMPINAS, 2001).

2.2. Resíduos de construção civil

De acordo com Freitas (2009 apud MACHIONE, 2010), a cadeia da construção civil, está estruturada em torno de uma cadeia de produção linear, que extrai recursos naturais, processa, gera bens de uso e dispensa os resíduos de produção e pós-uso em aterros.

Na verdade, este é um paradigma que predomina nas diferentes cadeias industriais e está alicerçado em um modelo de desenvolvimento contrário à preservação ambiental e põe em cheque a sobrevivência da espécie humana. Visando o desenvolvimento sustentável, o desafio, na perspectiva destes autores, é mudar o paradigma da produção industrial para um modelo de produção de ciclo fechado, de modo que os resíduos sejam reciclados, incorporando-se ao sistema produtivo.

Segundo Koz (2013), além de consumir uma grande quantidade de materiais, a construção civil também causa impactos por sua franca expansão em grandes regiões do mundo, inclusive no Brasil com o crescimento econômico-social, sobretudo nas últimas décadas com as novas políticas de retomada de investimento. Não se pode parar de construir casas, hospitais, melhorar os transportes.

Assim, um dos grandes desafios da construção civil é diminuir o desperdício de materiais, devendo necessariamente repensar o seu paradigma de produção de modo que os resíduos sejam reciclados e incorporados ao processo produtivo.

Por Resíduo de Construção Civil (RCC), Levy (1997), entende como:

“sobras ou rejeitos constituídos por todo material oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo adotado na obra nova ou de reformas, catástrofes naturais ou artificiais

(incêndios, desabamentos, bombardeios, entre outros), demolições de pavimentos rodoviários de concreto ou obras que chegaram ao final de sua vida útil ou devido ao desperdício gerado pela baixa qualificação da mão de obra”.

Como se observa, o RCC é um desperdício inerente ao processo construtivo, mas também gerado pela baixa qualificação da mão de obra. Em países desenvolvidos, o uso de equipamentos na construção civil é cada vez mais usado, como por exemplo: as bombas para projetar argamassas nas paredes, as réguas elétricas e muitos outros equipamentos vêm contribuindo no sentido de melhor qualificar a mão de obra nesses países, dando condições para maior produtividade e qualidade às construções bem como reduzindo o desperdício.

No intuito de enfrentar este desafio, grandes programas de construção de casas promovidos pelo Governo Federal, como o Minha Casa Minha Vida, poderiam, na perspectiva de Koz (2013), servir de laboratório para o desenvolvimento de novas técnicas que consumissem menor quantidade de matéria-prima, estimulando assim o uso de técnicas mais limpas. Deveriam, por exemplo, testar novos materiais, com impacto menor ao meio ambiente.

No entender de Pinto (1999), a quantidade de resíduos da construção civil gerados nas cidades de Jundiaí, Santo André, São José dos Campos, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, Campinas, Salvador e Vitória da Conquista, varia entre 230 kg/hab/ano e 760 kg/hab/ano. Nesta amostra, a mediana foi 510 kg/hab/ano, valor coerente com as estimativas estrangeiras.

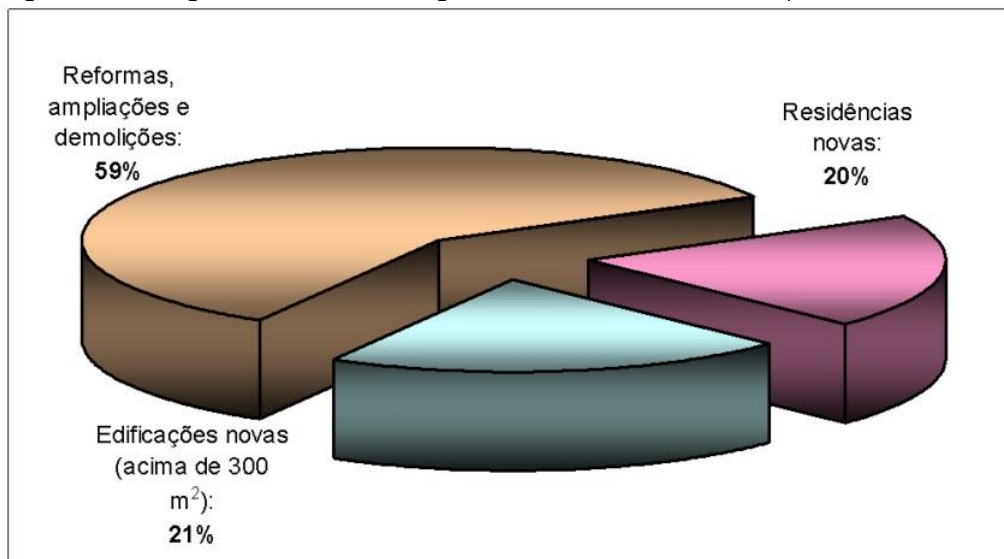
De maneira geral, a massa de resíduos de construção civil é igual ou maior que a massa de resíduo domiciliar. De acordo com Fernandez (2012), o diagnóstico consiste no levantamento e no agrupamento das informações sobre a geração e o manejo de RCC no país, por macro setores, mas, mesmo assim, o levantamento relacionando o lixo orgânico e os de resíduos de construção civil, são semelhantes em todas as cidades brasileiras.

Para a realização deste estudo, buscou-se identificar dados sobre a geração dos RCC no território nacional, bem como informações relativas à coleta, ao tratamento e à disposição final, agrupadas por macrorregiões, estados e municípios. Contudo, verificou-se que as informações disponíveis foram obtidas por meio de metodologias diferentes, já que não há controle ou

padronização sobre as formas adotadas para estimar a geração de RCC. No caso das pesquisas de maior abrangência feitas por instituições tais como IBGE e Ministério das Cidades, grande parte do levantamento é realizado por declaração das informações; alguns municípios não responderam às pesquisas disponibilizadas e outros respondem parcialmente.

No entanto, deve-se salientar, mesmo que difiram da metodologia de pesquisa adotada, os resultados são semelhantes. Pinto (2010) constatou que as novas construções geram 41% de RCC e as reformas e demolições chegam a 59%, como pode se verificar na Figura 1.

Figura 1 – Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% da massa total)



Fonte: Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos, Pinto (2010).

De acordo com a Resolução nº 307, de 2002 do CONAMA, os Resíduos da Construção e Demolição (RCC) são definidos como:

“resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (CONAMA, 2002).

Essa mesma Resolução classifica os resíduos de construção civil em quatro classes, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos Resíduos de construção.

CLASSE	ORIGEM	EXEMPLOS DE RESÍDUOS
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, argamassa e concreto
Classe B	Resíduos recicláveis com outras destinações	Gesso, plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros
Classe C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação	Lã de vidro
Classe D	Resíduos perigosos, oriundos do processo de construção Resíduos contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros	Tintas, solventes, óleos, amianto e outros Clínicas radiológicas, instalações industriais e outro

Fonte: Adaptado de BRASIL (2002 apud TORRES, CARELI, PINTO, 2012, p. 572).

Por sua vez, a norma NBR 10004:2004 dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados adequadamente. São definidos, conforme esta norma, como resíduos sólidos ou semi-sólidos aqueles que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Portanto, ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalação de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível, (ABNT, 2004).

Os resíduos são classificados, conforme a norma NBR 10004:2004, em:

- Classe I - Perigosos

- Classe II - Não Perigosos
- Classe IIA – Não inertes
- Classe IIB – Inertes

Vale ressaltar que os resíduos classificados pela resolução CONAMA 307 como Classe A, são os resíduos de tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, argamassas e concreto, enquadraram-se na Classe IIB da classificação proposta pela NBR 10004:2004, os denominados resíduos inertes, que são aqueles resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, podem reverter em usos dos mais variados da construção civil, desde como agregados para pavimentação até como agregados para concreto e argamassas de revestimentos. Destaca-se que, aproximadamente, 90% dos resíduos da construção civil estão entre estes resíduos inertes.

No entender de Ângulo e John (2006), os RCC são mencionados como resíduo inerte em trabalhos nacionais e internacionais em virtude destes resíduos possuírem aproximadamente 90% em massa de materiais compostos por silicatos, aluminatos e carbonatos provenientes de rochas naturais, cimento e cerâmica, os quais possuem características análogas aos agregados naturais e solos.

Todavia, atualmente, essa classificação encontra-se em discussão, pois muitos pesquisadores questionam essa tendência de denominar como resíduos inertes. Tal questionamento é baseado na hipótese de que os RCC possuem composição bastante heterogênea, assim podem ser encontradas pequenas quantidades de materiais não inertes na composição destes com presença de substâncias como metais pesados e produtos químicos perigosos. Córdoba (2010) considera que existe parte de RCC que são perigosos, pelo conteúdo desses resíduos, serem tóxicos, provenientes dos materiais químicos.

Em concordância com esses fatos, Townsend, Jang e Thurn (1999 apud CÓRDOBA, 2010) assinalam que pequenas quantidades de outros tipos de resíduos não pertencentes aos resíduos de construção e demolição podem ser encontrados nos aterros de RCC e ressaltam, também, ainda que dentre os resíduos podem ser encontradas pequenas quantidades de produtos químicos perigosos.

John e Agopyan (2001) observaram em seu trabalho que, embora em sua grande maioria os RCC sejam classificados como inertes, em função do

seu pH, em alguns casos eles podem conter contaminações importantes. Estas contaminações podem tanto ser oriundas da fase de uso da construção a partir dos quais foram gerados, quanto do seu manuseio posterior. Estes contaminantes podem afetar tanto a qualidade técnica do produto contendo o reciclado quanto significar riscos ambientais.

Conforme Scremin (2007) assinala em seus estudos, o grande problema dos RCC não está relacionado a sua periculosidade, mas sim ao impacto causado pelo excessivo volume gerado de resíduo, uma vez que, quando destinado a aterros sanitários, pode reduzir a vida útil desses aterros e, quando depositados em locais impróprios, degrada o meio ambiente urbano, podendo comprometer a paisagem, o tráfego de pedestres e de veículos, a drenagem urbana, além de atraírem resíduos não-inertes contribuindo para a multiplicação de vetores de doenças.

Nota-se que não apenas o desperdício, inerente ao processo construtivo, é um fator que traz impactos ambientais devastadores também o destino dado a estes resíduos e toda a problemática a ele relacionada. Segundo dados do IBGE (2008), os Resíduos da Construção Civil (RCC) tinham como destino final os lixões em 50,8% dos municípios brasileiros.

Todo este quadro nos leva a repensar que a saída para se evitar todo o impacto ambiental provocado pela indústria da construção civil está certamente na mudança de paradigma para “um modelo de produção de ciclo fechado, de modo que os resíduos sejam reciclados, incorporando-se ao processo produtivo” (MACHIONE, 2010).

A reciclagem dos resíduos de construção para produção de agregados reciclados é, portanto, o assunto a ser tratado no próximo item.

2.3. Agregados Reciclados

O reuso de materiais não é uma novidade, a reciclagem de resíduos da construção é praticada há milênios, sendo praticada por civilizações da antiguidade, como foi encontrado, nas escavações mais recentes em Roma, onde foram encontrados pedaços de outras construções mais antigas, como agregado nas construções mais novas (LEITE, 2001).

Conforme Pinto (1999), há, na história das civilizações antigas, exemplos de construções de um determinado período histórico servirem de

base usada por futuras edificações e, de acordo com Schultz e Hendricks (1992 apud LEITE, 2001), foram encontrados registros da utilização de alvenaria britada para produção de concreto, com material reciclado, já na época dos romanos. Nesta mesma época era utilizada uma mistura de cinzas vulcânicas, argilas, cacos cerâmicos e pasta aglomerante de cal, na execução de camadas para assentamento do revestimento final dos pavimentos.

Ressalta-se que há muitas possibilidades de reciclagem de resíduos de construção civil, conforme será explicitado mais adiante neste item, tais possibilidades variam de acordo com o seu beneficiamento na usina. Conforme a procura do tipo de material, ele é produzido mais graúdo para a base em pavimentação de estradas; médios, para concreto não estrutural e os miúdos, para argamassas destinadas para assentamentos das alvenarias e revestimentos de paredes e tetos.

Os resíduos são transportados de seu local de origem, ou seja, de onde eles foram produzidos em consequência de uma construção nova ou de uma demolição a partir da solicitação do contratante, que, perante a lei é o responsável pela sua remoção e despejo adequado. Assim, o responsável pela produção do entulho contratará transportador credenciado (empresa de caçambas) que se encarregará de remover o entulho para a usina de beneficiamento.

O processo de reciclagem se inicia nas Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs) e Eco-Pontos, criadas com a finalidade de abrir espaços para recebimento e triagem dos resíduos sólidos. Estas áreas situam-se próximas da população e são destinadas para receber pequenos volume inferior a 1 m³. A partir daí os resíduos são transportados para unidades recicladoras onde são beneficiados.

Todas as cidades maiores, com mais de 100 mil habitantes, são obrigadas a ter usinas de beneficiamento ou, no caso dos municípios menores, estes devem se organizar para montar uma unidade recicladora em conjunto para cumprirem as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Para que o RCC seja reutilizado e, portanto, volte à cadeia de produção, precisa passar por um processo de triagem antes do processo de britagem, são separados em resíduos à base de cimento – argamassa, blocos de concreto e

resíduo de concreto armado, e resíduos mistos que contem alta porcentagem de material cerâmico e argiloso. Após o processo de britagem, são peneirados e separados em vários tamanhos conforme seu diâmetro máximo.

Observa-se que o processo de beneficiamento dos agregados reciclados, de um modo geral, é simples, sendo composto pelas etapas de triagem, britagem e classificação por peneiramento, gerando agregados reciclados de diversas granulometrias.

A usina, na maioria dos casos, é a céu aberto, devendo ter dimensões compatíveis com o maquinário e a quantidade de material recolhido, deve ter área para recebimento e triagem do resíduo da construção civil, deve ter espaço para a estocagem de caçambas vazias e dos caminhões guindastes, inclusive local de pequena oficina de manutenção, depósito e administração.

Diversos pesquisadores avaliaram a composição dos resíduos de construção civil Classe A entregues em áreas para triagem e em unidades recicladoras.

A Tabela 2 abaixo, apresenta o levantamento de seis cidades brasileiras, baseado nos trabalhos de Cassa et al. (2001 apud MARQUES NETO, 2010) e Córdoba (2010), onde são apontados os montantes relativos às frações dos resíduos que podem ser reciclados e, portanto, podem ser utilizados como agregados na própria indústria da construção civil.

Tabela 2. Composição dos resíduos de construção em Porcentagem.

	Salvador-BA	São Carlos – SP	Uberlândia – MG	Ribeirão Preto- SP	Rio de Janeiro – RJ	Recife – PE
Concreto/ argamassa	53	27	60,7	58,5	51,2	44
Cerâmica	14	40	25,3	23,3	13,7	19
Pedra	5	10	-	17,7	29,2	3
Areia/solo	22	9	13	-	-	23
Total	94	86	99	99,5	94,1	89

Fonte: Cassa et al. (2001 apud MARQUES NETO, 2010) e Córdoba, (2010)

Verifica-se que o percentual de resíduos que pode ser britado e utilizado como agregado na própria indústria da construção civil varia entre 86% e 99%.

Em São Paulo, conforme estudos de Careli (2012), estima-se que 17 mil metros cúbicos de agregado reciclado são gerados diariamente, sendo que 30% vêm da construção formal, ou seja, das construtoras de maior porte e estabelecidas e o restante, da informal, ou seja, originadas das pequenas

construções que se utilizam da mão de obra autônoma, às vezes oficializadas e outras clandestinas.

A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição recomenda os seguintes usos dos agregados reciclados, de acordo com Torres et al. (2012), que são: Areia: produção de argamassa de assentamentos, blocos e tijolos de vedação.

- ✓ Pedrisco: fabricação de artefatos de concreto, como mesas e bancos de praça, pisos intertravados, manilhas de esgoto.
- ✓ Brita: obras de drenagem e produção de concretos não-estruturais.
- ✓ Bica corrida: base e sub-base de pavimentação, reforço e subleito de pavimentos e regularização de vias não pavimentadas.
- ✓ Rachão: obras de pavimentação, drenagem e terraplanagem.

Observa-se que os produtos decorrentes da reciclagem possuem uma série de outras aplicações, como pavimentação e o concreto sem fins estruturais. Vale destacar que as características dos agregados reciclados para utilização em pavimentação e para produção de concreto, sem função estrutural, são especificadas pela NBR 15116:2004 (ABNT, 2004b).

É importante também destacar que essa norma técnica, NBR 15116:2004, (ABNT, 2004b), ainda classifica os agregados reciclados em agregado de resíduo de concreto (ARC) e agregado reciclado misto (ARM), conforme a porcentagem de material cimentício presente em sua composição, assim:

“ARC: agregado de resíduo de concreto (ARC): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A composto, na sua fração graúda, de, no mínimo, 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas”.

“ARM: o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A Composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

2.4. Argamassa para revestimentos

Um edifício é formado por um conjunto de elementos básicos: a estrutura, as vedações verticais e horizontais e os sistemas prediais. Cada um desses elementos exerce funções específicas e contribui para o desempenho final do edifício. Por sua vez, o revestimento de argamassa, técnica de revestimento que consiste no recobrimento da parte bruta das construções, é uma das partes integrantes das vedações do edifício. Ressalta-se que nos tempos modernos ainda é o tipo de revestimento mais comum utilizado nas construções, certamente pelo custo mais acessível e pela qualidade proporcionada.

O certo é que o encontro do homem com a argamassa revolucionou a dinâmica das construções.

Inicialmente as edificações eram frágeis, porém, com a evolução do conhecimento dos materiais existentes ao redor dos aglomerados humanos, passou-se a edificar construções mais sólidas, capazes de resistir satisfatoriamente às ações dos predadores e aos fenômenos da natureza. Imagina-se que, no início das civilizações, certos povos arrumavam as pedras umas sobre as outras, simplesmente empilhando-as de modo aleatório, o que comprometia a estabilidade. Com o tempo, algumas civilizações evoluíram nessa técnica, talhando as pedras em formatos adequados, conseguindo executar edificações que duraram séculos. Outras, porém, começaram ligar os componentes constituintes das alvenarias com uma massa plástica contendo aglomerante inerte, uma espécie de massa ligante, e água, que se denominou de argamassa com o intuito de dar estabilidade à alvenaria Oliveira e Coutinho (1959, 1973 apud GOMES, 2002).

Segundo a NBR 13281:2005 (ABNT, 2005), argamassa é a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

O primeiro registro de emprego de argamassa em construção refere-se a um piso polido de 180 m², feito com pedras e rejuntados com argamassa de cal e areia no período entre 7000 a 9000 a.C, que foi descoberto em 1985, em

Israel. Outro registro, uma laje de 25 cm de espessura executada com argamassa de cal no Pátio da Vila de Lepenske-Vir, na Iugoslávia, data de 5600 a.C. (SILVA e SALRETA, 2011).

Comparando o período da Pré-história com a Antiguidade, em relação ao avanço das tecnologias construtivas da época, pode-se notar o salto de desenvolvimento nos modos de vida, principalmente no aumento da qualidade e do conforto nas construções, tanto no sentido dos materiais empregados como na suntuosidade das edificações, embora as habitações populares ainda apresentassem um caráter singelo frente às edificações oficiais.

Estima-se que, há mais de 2.000 anos, a argamassa vem sendo utilizada para assentamento e revestimento dos blocos de pedra que constituem as paredes das edificações. Observa-se que os romanos são povos que fizeram uso amplo das argamassas, tanto no assentamento das alvenarias como nos revestimentos de seus edifícios.

O desenvolvimento da argamassa como sistema de revestimento construtivo ocorreu em Roma. Durante o império romano os homens tiveram a ideia de misturar um material aglomerante, a pozolana (cinzas vulcânicas), com materiais inertes, dando origem às primeiras argamassas. É importante destacar que a argamassa era uma solução de acabamento de menor custo, comparando com os acabamentos em pedra, principalmente os revestimentos em mármore, que eram os revestimentos nobres das grandes edificações da antiguidade grego-romanas. Assim, a substituição da pedra pelos revestimentos argamassados sobre alvenarias menos nobres tinha certamente o objetivo de economizar. Por outro lado, usava-se também a argamassa com o objetivo de deixar as construções com as características mais próximas possíveis do revestimento natural, imitando, assim, com pinturas e texturas, os mármore travertinos, Moraes (2014).

O uso da argamassa como revestimentos de paredes e tetos das construções no Brasil relaciona-se à tradição construtiva dos colonizadores que trouxeram esta prática que se espalhou depois que a colônia ganhou um patamar de desenvolvimento compatível.

A colonização portuguesa, tanto no Brasil, como no norte da África, fez com que os portugueses, conhecedores do clima dos dois continentes e experientes com o clima europeu, desenvolvessem, aqui, técnicas construtivas

para as obras de maior porte e importância semelhante aos do norte da África, pelas condições climáticas e da mão de obra escrava. As construções conhecidas hoje como coloniais são deste período com paredes de taipa de pilão e revestidas com argamassa composta de cal, areia e água. As construções anteriores, do período entre o descobrimento até o final do século XVIII, poucos exemplos perduraram em virtude dos materiais construtivos que, na maioria dos casos, era uma mistura de técnicas indígenas e pau a pique e sua vulnerabilidade ao tempo era fatal Moraes (2014).

Conforme Moraes (2014), a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de nossa colonização para assentamento de alvenaria de pedra. A cal que constituía tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado como aglomerante, no preparo de argamassas para assentamento.

Uma vez que a finalidade da argamassa é proteger e também propiciar a aparência estética, sem dúvida, como afirma Santana, Carneiro e Sampaio (2001 apud SCATAMBURLO, 2014), o revestimento de uma construção possui importante função na melhoria da qualidade de vida, já que contribui para a impermeabilização da alvenaria, inibindo assim a proliferação de ácaros e fungos, a infiltração de água e, também, impedindo que se alojem insetos em frestas.

Ressalta-se que os conceitos de qualidade dos revestimentos na antiguidade são até hoje aceitos, devendo ter as seguintes características e desempenho: funcional, estético, durável, comparado com as qualidades das pedras ou dos cerâmicos industrializados usados em revestimentos de fachadas externas e internamente, também, nas áreas úmidas.

Para ter bom desempenho, a argamassa de revestimento deve ser preparada de acordo com a finalidade do revestimento, o tipo de substrato e as condições de uso, de tal forma que os ingredientes sejam compatíveis para cada caso.

Poucos são os registros encontrados a respeito da proporção dos agregados miúdos e dos aglomerantes e água utilizada na produção das argamassas. Daí não ser possível afirmar, de forma categórica, qual o aglomerante que foi utilizado em primeiro lugar na antiguidade, se o gesso ou a cal. Alguns estudiosos, como Oliveira et al. (1959,1973 apud GOMES, 2002),

utilizando-se do raciocínio lógico e da evidência arqueológica, afirmam que a argila foi o primeiro aglomerante a ser empregado, apesar de não endurecer por reação química e sim por secagem.

No item a seguir serão abordados os tipos de argamassa utilizados nos revestimentos.

2.4.1. Tipos de argamassa de revestimentos

Nas palavras de Baia e Sabbatini (2002), “sendo uma das partes integrantes das vedações do edifício, o revestimento de argamassa deve apresentar um conjunto de propriedades para contribuir para a obtenção do adequado comportamento das vedações e, conseqüentemente, do edifício como um todo”.

Segundo a NBR 13281:2005, (ABNT, 2005) a argamassa é a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), como a areia natural, ou agregado miúdo reciclado, aglomerante(s) inorgânico(s), como a cal, o cimento e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento e que pode ser preparada em obra ou industrializada.

Quando recém-misturadas, ainda em estado fresco devem possuir boa plasticidade, de forma a serem trabalháveis, enquanto que, quando endurecidas, devem apresentar rigidez, resistência e aderência.

Segundo Carasek (2013), conforme o tipo de aglomerante utilizado para sua produção, as argamassas podem ser classificadas em:

- a. Argamassa aérea – quando o aglomerante utilizado é a cal ou o gesso
- b. Argamassa hidráulica- quando o aglomerante usado é o cimento,
- c. Argamassa mista - quando se utiliza mais de um aglomerante, normalmente o cimento e a cal

Atualmente, no mercado brasileiro não se observa o uso da argamassa aérea, pois a evolução de sua resistência é muito lenta retardando o processo de execução das etapas posteriores. São comuns os outros dois tipos, porém com grande crescimento do uso da argamassa hidráulica. Nos próximos tópicos serão abordados mais detalhadamente cada um destes tipos de argamassa.

Quando se varia a dosagem de seus componentes, as argamassas têm funções específicas de emprego, na execução de revestimentos de paredes e tetos ou quando empregadas no assentamento de alvenarias e pisos.

A argamassa hidráulica, por exemplo, com o componente aglutinador cimento se presta muito bem para assentamentos de pisos e azulejos. Também é empregada nos revestimentos chamados de monocamada, ou tradicionalmente denominada “massa paulista”, em que, após o chapisco, é aplicada somente uma camada de argamassa que faz a vez tanto do emboço como do reboco. Para isso, depois de lançada na parede, usando a técnica tradicional de taliscar, mestrar, sarrafear, desempenar, a argamassa é alisada com feltro para dar acabamento liso para que possa receber depois o acabamento final da pintura (Moraes, 2014).

Vale observar que, ao empregar as argamassas nos revestimentos de paredes e tetos, deve haver um projeto de revestimento no intuito de se especificar os usos para cada caso de aplicação de revestimento, isto é, levar em consideração todas as possíveis influências externas que poderão sofrer e avaliar o seu desempenho à luz das normas Baia e Sabattini (2002).

Neste sentido, algumas características básicas devem ser atendidas pelas argamassas na execução de revestimentos de edificações, tais como: “resistência mecânica, durabilidade, baixa permeabilidade, pouca retração, isolamento térmico e acústico no estado endurecido e trabalhabilidade, plasticidade e retenção de água no estado fresco” (CINCOTTO et al, 1995). Entender bem o comportamento das argamassas, ou seja, o modo como elas agem, “requer a avaliação das condições de produção, de exposição do revestimento da ação dos usuários e do modo como essas condições influem no seu desempenho”, continuam os autores.

Para a análise do desempenho de uma argamassa de revestimento, deve-se, segundo Cincotto et al. (1995), avaliar o seu comportamento em três etapas distintas:

- Durante o seu preparo e no período em que se encontra no estado fresco;
- No período após a aplicação sobre o substrato, quando a argamassa se encontra em endurecimento;

- No período de uso da edificação, quando o revestimento (argamassa endurecida) sofre aos efeitos provenientes da ação dos usuários e das condições de exposição.

Em relação ao estado fresco, três propriedades importantes devem ser observadas: a aderência inicial, a trabalhabilidade e a retração na secagem. Em relação à aderência inicial, de acordo com Baía e Sabbatini (2008), "esta propriedade está relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros e saliências, seguidos do endurecimento crescente da pasta". Ainda, de acordo com os autores, para uma adequada aderência inicial, a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequada à sucção da base e às condições de exposição. Além disso, a base deve estar limpa, rugosa e sem oleosidade.

Por sua vez, em relação à trabalhabilidade, segundo ainda Baía e Sabbatini (2008), esta é uma propriedade de avaliação qualitativa a ser executada pelo pedreiro. Já a retração na secagem, ocorre em função da evaporação da água de amassamento e pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes, podendo ocasionar a formação de fissuras no revestimento, sendo assim prejudiciais, principalmente pela infiltração que pode ocorrer quando aplicadas externamente ou a formação de microfissuras. Alguns fatores, como o tempo de sarrafeamento e o desempenho, espessura e intervalo de aplicação, podem ser responsáveis por essa propriedade.

A seguir, serão abordados os tipos de argamassa, detendo-se em cada tipo separadamente.

2.4.1.1. Argamassa Hidráulica

A argamassa hidráulica, tal como é denominada pela NBR 13281:2005, em sua composição, contém só o cimento, como aglomerante, diferente da argamassa mista, que será abordada adiante, que contém também a cal em diferentes proporções de acordo com o tipo de uso.

As argamassas hidráulicas atingem facilmente resistência mecânica necessária além de resistirem à ação da água. Porém, trazem como desvantagem o fato de que, quando a mistura é pobre, elas não atingem a

trabalhabilidade adequada e quando se utiliza uma mistura rica, com alto consumo de cimento, além de antieconômica, pode trazer efeitos deletérios devido ao aumento de retração, uma das vantagens é a rapidez no seu preparo e a resistência de aderência que ela obtém.

2.4.1.2. – Argamassa Mista

Na argamassa mista, além do aglutinante cimento, é adicionada a cal hidratada, que melhora a trabalhabilidade pelo aumento da plasticidade que esta confere à argamassa. Nota-se que a aplicação da cal é possível para todas as funções de revestimentos e assentamentos de elementos de alvenaria, desde que o elemento construtivo não tenha a finalidade de ser submerso ou enterrado visto que a cal é um aglomerante aéreo, ou seja, reage com o dióxido de carbono presente no ar (DUBAJ, 2000).

A constituição das argamassas para revestimentos de paredes e tetos podem ser produzidas com a adição de cimento, cal, agregado miúdo e água, nas proporções diferentes para cada caso de aplicação, como para residências unifamiliares, edifício de múltiplos pavimentos, em parede externa ou interna. A participação da cal neste tipo de argamassa contribui para aumentar a qualidade do revestimento, uma vez que, pelas suas características, aumenta a capacidade de retenção de água, melhorando a condição de hidratação do cimento e reduzindo a ocorrência de retração plástica, Carasek (1996 apud DUBAJ, 2000).

A capacidade de retenção de água, além de conferir menor retração na secagem, evita destacamentos entre a argamassa de assentamento e os componentes da alvenaria.

Segundo Guimarães et al. (2012), a principal vantagem da cal hidratada é com relação ao seu custo, uma vez que os aglomerantes são comprados por peso e, no caso da cal hidratada, por ser um produto extremamente fino e leve (densidades aparentes: 0,5 g/cm³ e o cimento= 1,2 g/cm³), é mais econômica que o cimento.

Também, deve-se destacar outro fator que imprime economia na produção de argamassa mista, que se refere ao poder de incorporação do agregado miúdo, como a cal hidratada é um produto extremamente fino e possui um grande número de partículas (grãos), consegue envolver maior

volume de areia proporcionando assim maior quantidade de argamassa e, portanto, maior rendimento, sendo assim mais viável economicamente.

No estado endurecido a capacidade de absorver deformações, devido seu baixo módulo de deformação, é de extrema importância no desempenho da argamassa, como apontam os dados da literatura, reunidos por Cincotto et al. (1985 apud FONTES, 2013).

As argamassas à base de cal hidratada têm resistência suficiente quanto à compressão e aderência, tanto para assentamentos como para revestimentos e, por terem baixo módulo de elasticidade, têm a capacidade de absorver as pequenas movimentações das construções, pelos efeitos das dilatações climáticas, evitando o aparecimento de trincas, fissuras e até deslocamentos dos revestimentos.

De acordo com Cincotto et al. (1995 apud FONTES, 2013), a elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

Por ser alcalina, outro fator que confere qualidade à argamassa mista é que a presença da cal hidratada nas argamassas funciona como um agente bactericida e fungicida, e evita a formação de manchas e apodrecimento precoce dos revestimentos, o que assegura maior durabilidade às pinturas e, ainda, é compatível com qualquer tipo de tinta.

Vale destacar que a argamassa executada com cal tem um histórico invejável, com exemplares milenares. Há inúmeros exemplos que revelam a durabilidade das argamassas com cal, como a milenar Via Ápia (Itália) ou a casa das Retortas (São Paulo), conforme ilustrado por Guimarães, et al. (2002).

Todas as obras anteriores a 1824 não contêm cimento como é conhecido hoje. Curiosamente, em alguns casos, na antiguidade, o material aglomerante era chamado de cimento, porém, este não passava de uma cal mais elaborada, dado ao parentesco original comum entre os dois: as rochas calcárias.

A partir do século XVIII, a produção de cimento passa por um desenvolvimento tornando-se um processo industrial de queima em maior

temperatura e incorporando outros produtos minerais como o gesso. O cimento confere às argamassas maior resistência e essa é uma das razões para o declínio da cal na sua utilização na produção de argamassas.

2.4.1.3. – Argamassas industrializadas

Segundo Coutinho et al. (2013), as argamassas industrializadas tiveram seu uso disseminado no Brasil a partir dos anos 90, o que foi obtido tanto por investimentos das indústrias cimenteiras, quanto pela necessidade de racionalização das construtoras, pois o mercado passava a exigir cada vez mais rapidez nas obras, redução das perdas e melhoria da produtividade, viabilizando assim a incorporação de novas tecnologias no mercado que possibilitassem ganhos em tempo, qualidade e logística. A Tabela 3 apresenta as características da argamassa industrializada:

Tabela 3. Caracterização da argamassa industrializada

Ensaio		Norma		Resultados		Classificação NBR 13281/95	
Massa Específica (g/cm ³)		NBR NM 23/98		2,77			
Água de Consistência Padrão (%) (255+ 10)mm		NBR 13276/95		18,3			
Retenção de Água (%)		NBR 13272/95		96,8		Alta (>90)	
Densidade de Massa (g/cm ³)		NBR 13278/95		0,97			
Taxa de ar Incorporado (%)		NBR 13278/95		56,3		C (>18)	
Resistência a compressão (MPa) – NBR – 13279/95							
Idade (dias)	Corpo de prova nº				Média	Desvio Relativo Máximo (%)	Classificação NBR 13281/95
	1	2	3	4			
28	3,4	3,4	3,2	3,3	3,3	60	I(>0,1 e <4)

Fonte: Coutinho, et al. (2013).

Segundo Regattieri e Silva (2006 apud COUTINHO et al., 2013), existem várias vantagens para o uso da argamassa industrializada em relação ao uso da argamassa preparada em obra, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Principais Vantagens e Desvantagens do Uso da Argamassa Preparada em Obra e Industrializada

Quanto ao:	Argamassa preparada em obra	Argamassa industrializada
1 - Recebimento e descarregamento de materiais	Recebe a areia a granel, cimento e cal em sacos. Demanda mais mão-de-obra e maiores perdas.	Entregue ensacado e paletizado. Demanda menos mão-de-obra, menores perdas.

2 - Controle e Recebimento de materiais	Apresenta dificuldades em controlar a qualidade da areia. É mais suscetível a contaminações.	Contagem e pesagem dos sacos e verificação se existem embalagens danificadas.
3 -Armazenamento de materiais	Necessita de mais cuidado e espaço para o seu armazenamento.	Estoques mais flexíveis podem ser remanejados e ainda distribuídos no local da aplicação (andares).
4 - Local de Preparo	Se preparada nos andares apresenta dificuldades. Apresenta maiores perdas nas medições e no transporte dos materiais.	É possível preparar nos andares da aplicação, pois permite menores solicitações de transporte e mão-de-obra
5 - Medição dos materiais	Tem que medir todos os materiais, depende da experiência do mestre.	Propriedades asseguradas pelo fabricante. Cuidados somente com a quantidade de água
6 - Mistura dos materiais	Deve ser mecanizada	Deve ser mecanizada
7 – Transporte dos materiais	Utilização excedente de mão de-obra e gasto maior de energia.	Pode ser transportado também por bombeamento.

Fonte:Coutinho, et al. (2013).

Outro aspecto positivo que também contribui para o uso da argamassa industrializada foi a estabilização da qualidade, oferecida pelo processo industrializado, com o controle sistemático, o que não acontece com as argamassas preparadas artesanalmente nas obras, quando as dosagens dos materiais ficam à mercê do controle manual da mão de obra que muitas vezes não tem treinamento adequado (CARVALHO, 2011).

Contudo, o uso da argamassa industrializada não é regra no Brasil, como mostra o trabalho de pesquisa realizado na região de Vitória, ES. Conforme sugerem Coutinho et al. (2013) é grande a incidência do uso da argamassa preparada em obra nas empresas pesquisadas. Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados por esses autores, constatou-se a ineficiência da Norma Brasileira para a classificação das argamassas quanto ao seu uso.

No Brasil, de um modo geral, o costume tradicional construtivo arraigado por muitos anos de uso fica imune à introdução de novas técnicas e novos materiais. Isso se deve em parte ao fato de as pequenas obras estarem nas mãos diretamente do proprietário e profissionais autônomos que não ousam arriscar usar novas tecnologias e somente mudam de processo depois de muitas incursões temerosas de idas e vindas do uso das novas tecnologias.

Apenas, nas grandes obras tocadas pelas grandes construtoras, as inovações estão presentes. Todavia, cerca de 60% do mercado da construção ainda é dominado pelo mercado chamado “consumidor formiguinha”, caracterizado pelo consumidor, que compra produto em revendedores

varejistas em pequenas quantidades cuja principal finalidade é a autoconstrução. Este fato ajuda explicar como ainda, em pleno século XXI, na construção civil brasileira e em especial no setor das pequenas construções, a participação de produtos industrializados é muito pequena, Coutinho et al. (2013)

A norma regulamentadora - NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, promulgada pelo Ministério do Trabalho, visa regulamentar a qualificação da mão de obra, estabelecer as condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, regulamentar ações administrativas, planejamento e de organização, objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção. Porém, mesmo com tal publicação, a indústria civil brasileira está longe ainda de assimilar as inovações relacionadas à industrialização de argamassas para revestimentos e assentamentos de alvenarias.

A necessidade de normatizar a industrialização de argamassas para revestimentos e assentamentos de alvenarias, foi, na década passada, o grande passo para a qualificação dos materiais constituintes de revestimentos, com especificidades para cada aplicação, isto é, revestimentos internos e externos, para fachadas de edifícios de grande altura, com resistência ao meio agressivo, etc. Outro aspecto importante das normas foi o de sistematizar a tecnologia construtiva da produção dos revestimentos de argamassa, evidenciando a necessidade da elaboração do projeto previamente à execução (BAIA e SABBATINI, 2008).

No item a seguir, será abordada a argamassa composta a partir de agregados reciclados, a qual se apresenta, tal como vem sendo defendida neste estudo, como uma alternativa viável na busca por novas possibilidades para a utilização do enorme volume de resíduos da construção civil e demolição (RCC), por meio do processo de reciclagem.

2.5. Argamassa com agregados reciclados

O revestimento tradicional de argamassa composto de cal, areia natural e água, é o mais conhecido atualmente e o mais usado desde a antiguidade. E isso se deve à cal como aglutinante, a qual é produzida por processos até que

rudimentares em comparação com a produção do cimento. Vale ressaltar que, para a produção desta argamassa, a areia natural, proveniente dos rios ou da cava, é um agregado que, por ser consumido em grande escala, contribui sensivelmente para o agravamento da crise ambiental. Assim, buscar alternativas construtivas que consigam substituir a areia natural por outro elemento com propriedades parecidas pode ser uma saída interessante em termos ambientais.

Neste sentido, Da Silva (2006) em sua pesquisa, mostrou a viabilidade da produção de argamassas substituindo-se a areia natural pela areia proveniente das rochas. O trabalho desenvolvido, comparou o desempenho da argamassa de cimento, cal e areia proveniente da britagem de rocha calcária, com a argamassa de areia natural e, também, avaliou a influência do teor de material pulverulento e do teor de água nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

Com esta preocupação, o vice-presidente de Tecnologia e Qualidade do SindusCon-SP, Jorge Batlouni, diz: “temos que aproveitar este momento para implantar coisas novas. Como a atividade econômica tem estado em baixa, vamos aproveitar para tentar obter ganhos de produtividade, como o uso da tecnologia e dos conceitos de sustentabilidade”, em seguida complementa, “toda a parte de industrialização vai envolver a questão da sustentabilidade, com foco na redução do desperdício e da geração de resíduos e entulhos nas obras” (BATLOUNI, 2016).

Para se substituir o agregado miúdo natural pelo material miúdo proveniente da reciclagem dos resíduos da construção civil na produção de argamassas é fundamental que suas características assemelhem ao das argamassas mistas e hidráulicas tradicionais, devendo estas, atender às especificações da NBR 13281:2005 (ABNT, 2005), como limites de resistência mecânica adequada e grau de aderência e trabalhabilidade.

Neste sentido, de acordo com Miranda e Selmo (2001) é importante que sejam realizadas pesquisas que procurem avançar na tecnologia de revestimentos de argamassa com utilização de agregados reciclados. Para isso, eles desenvolveram uma pesquisa com o objetivo de verificar a utilização dos agregados reciclados miúdos na produção de argamassa de revestimento e na aplicação dos mesmos nas construções.

Segundo Miranda e Selmo (2001), uma das principais dificuldades para a reciclagem do entulho, do ponto de vista industrial, é a sua elevada heterogeneidade e presença de contaminantes, principalmente na fração miúda e, quando se trata de revestimentos feitos com entulho reciclado, o problema pode ser ainda mais grave, tendo em vista que as argamassas com este material podem sofrer maiores variações de composição e de distribuição granulométrica, produzindo assim revestimentos com ampla variação de desempenho de modo que a durabilidade dos mesmos seja diminuída pelo surgimento de fissuras por retração ou por problemas de descolamento, o que normalmente já se constitui uma dificuldade em seu uso.

As argamassas produzidas com agregado reciclado, segundo Martínez et al. (2016), apresentam menor massa específica e maior absorção de água. Foram realizados ensaios para determinar as propriedades de argamassas hidráulicas utilizando agregados reciclados de dois diferentes tipos: misto e concreto. Cada agregado foi adicionado em três diferentes proporções de substituição: 50%, 75% e 100%. Em cada proporção foram adotados traços de 1:3 e 1:4 em massa seco. Essas argamassas não apresentaram variação significativa nos resultados de ensaios de resistência à tração na flexão com o aumento da proporção de agregados reciclados em ambos os traços, apresentando resistência média de 4 MPa. As argamassas com agregado reciclado misto e de concreto apresentam queda na resistência à compressão de acordo com o aumento da proporção de agregado reciclado, para ambos os traços, partindo de uma resistência à compressão de 19 MPa para traços de 1:3 e 12 MPa para o traço de 1:4. A resistência potencial de aderência também sofre queda quando há o aumento da proporção de agregados finos reciclados para ambos os traços, partindo de 0,50 N/mm² para o traço de 1:3 e de 0,42 N/mm².

Ledesma et al. (2015) também demonstram que as argamassas hidráulicas produzidas com agregados finos reciclados apresentam menor massa específica. Utilizando-se o traço de 1:5 em volume, verificou-se que a massa específica sofre queda consequente do aumento da porcentagem de substituição do agregado fino pelo agregado fino reciclado, variando de 1815 kg/m³ da argamassa sem agregado reciclado para 1580 kg/m³ da argamassa com 100% de agregado reciclado. A mesma queda ocorre com as

propriedades de resistência à compressão, variando de 11,5 MPa para 7,8 MPa e, resistência à tração na flexão da argamassa, que decresce conforme é realizado o aumento da proporção de agregado reciclado, partindo de 3,8 MPa para 2,0 MPa. A resistência potencial de aderência apresentou quedas com o aumento de proporção de agregados reciclados, partindo de 0,45 MPa na referência, caindo para 0,29 MPa na argamassa com 100% de substituição. O aumento de percentual de agregado reciclado na argamassa resulta em aumento gradual da absorção de água por capilaridade, variando de 0,60 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) na argamassa sem agregado reciclado para 1,12 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) na argamassa com 100% de agregado reciclado.

Segundo Ledesma et al. (2014), as argamassas hidráulicas com traço volumétrico de 1:7 utilizando agregado reciclado, também possuem menor massa específica. As substituições adotadas foram: 0%, 5%, 10%, 20% e 40% do agregado fino. A massa específica diminui ainda mais conforme a adoção de maior porcentagem de substituição do agregado fino, variando de 1738 kg/m^3 da argamassa de referência para 1667 kg/m^3 da argamassa com 40% de agregado fino reciclado. A resistência à flexão dessas argamassas é reduzida quando a substituição é ampliada, apresentado uma resistência de aproximadamente 2,65 MPa, porém, apresentou aumento na maior taxa de substituição (40%). A resistência à compressão apresentou maiores resultados no percentual de substituição de 10% (8 MPa), tendo menor resistência à compressão tanto em menores quanto em maiores substituições. As argamassas apresentaram maior taxa de absorção de água por capilaridade no percentual de substituição de 20% (0,8 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$) e a menor taxa de absorção no percentual de 5% (0,72 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$). Houve um aumento significativo, com relação à resistência potencial de aderência, na argamassa com 10% de substituição, com 0,58 MPa, apresentando os menores valores na substituição de 40%, com 0,32 MPa.

Samiei et al. (2015) demonstrou o uso de agregado reciclado em argamassas hidráulicas e mistas, utilizando traços de 1:3 e 1:1:6 em peso respectivamente. Para cada uma foram utilizados os seguintes percentuais de substituição do agregado fino: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Segundo os resultados, a massa específica da argamassa mista é tão menor quanto maior for o percentual de substituição do agregado reciclado, variando de 2090 kg/m^3

para 1950 kg/m³. Já a argamassa hidráulica, apresenta queda da massa específica até o percentual de substituição de 50%, após, observa-se uma estabilização, variando de 1810 kg/m³ para 1730 kg/m³. Nos ensaios de resistência à compressão, a argamassa hidráulica apresentou maior resistência, porém, observa-se queda desta resistência quando o percentual de substituição foi maior, apresentando uma resistência de 25 MPa na argamassa controle, caindo para 15 MPa na argamassa com 100% de agregado fino reciclado. Já a argamassa mista apresentou resistência à compressão radicalmente menor, que aumentou quando o percentual de substituição foi maior, variando de 4,9 MPa na argamassa controle para 7,7 MPa. O mesmo comportamento foi observado para os ensaios de resistência à flexão, a argamassa hidráulica apresenta maior resistência com queda gradual de acordo com o aumento do percentual de substituição, partindo de 5,7 MPa para 4,4 MPa e, a argamassa mista apresenta menor resistência de acordo com a maior proporção de agregados finos reciclados, variando de 1,0 MPa para 1,9 MPa. A argamassa hidráulica apresenta menores taxas de absorção de água por capilaridade, que é crescente de acordo com o aumento da proporção de substituição, que variou de 0,1 kg/(m².min^{1/2}) para 0,21 kg/(m².min^{1/2}). Já a argamassa mista possui taxa de absorção consideravelmente maior, que decresce conforme a maior porcentagem de substituição do agregado, variando de 0,82 kg/(m². min^{1/2}) para 0,60 kg/(m².min^{1/2}).

Pesquisas apontam que o uso de agregado miúdo reciclado vem ganhando espaço e, segundo Scatamburlo (2014), o primeiro estudo sistemático para a utilização de resíduos de construção e demolição foi concluído em 1986 pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, cuja pesquisa consistiu em estudar o uso do agregado reciclado para produção de argamassas.

Visando o desenvolvimento sustentável, acredita-se, como já vem se defendendo neste estudo, que o desafio da construção civil é mudar o paradigma da produção artesanal para um modelo de produção que consiga incorporar ao seu processo produtivo os resíduos através da reciclagem dos mesmos. Assim, um avanço possível na indústria da construção civil é reutilizar os agregados gerados pela construção após o processo de reciclagem,

principalmente na produção de argamassas, uma vez que no Brasil existe uma tradição muito forte em se usar este tipo de revestimento nas construções.

3. MATERIAIS e METODOS

Com o objetivo de verificar as influências dos agregados miúdos oriundos da britagem do RCC em substituição ao agregado miúdo natural na produção de argamassas hidráulica e mista para revestimento, a metodologia empregada nesta pesquisa foi experimental, na medida em que viabiliza testar a hipótese, estruturada na delimitação do tema.

Ressalta-se que este trabalho partiu do pressuposto de que o agregado miúdo proveniente da britagem de resíduo de construção e demolição, classificado segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como classe A, pode substituir o agregado miúdo de origem natural na produção de argamassas hidráulica e mista para revestimento. Todavia, a questão com a qual se deparava era até que ponto seria possível fazer a substituição destes materiais de modo que o resultado na prática fosse viável e pudesse então apresentar-se como uma alternativa para revestimento.

Nesta pesquisa a metodologia experimental possibilitou checar a hipótese proposta mediante a coleta minuciosa de dados referentes às diferentes etapas delineadas para a realização desta pesquisa, conforme serão explicitadas adiante, e análise adequada dos dados obtidos, permitindo, enfim, estabelecer relações entre o material natural e o reciclado e discutir os resultados obtidos a partir da pesquisa bibliográfica.

Com esta metodologia, pôde-se então verificar a influência do teor de finos do RCC (material pulverulento) nas propriedades das argamassas no estado fresco, endurecido e no desempenho da argamassa como revestimento.

Para verificar o teor de finos optou-se estudar a substituição do agregado natural pelo RCC nas proporções de 30%, 60% e 100%. Para a pesquisa, tomou-se como referência a argamassa comumente produzida artesanalmente na obra, tal como descrita por profissionais experientes em revestimentos de paredes e tetos, tanto para a argamassa hidráulica como para a mista, e a quantidade de água necessária para a consistência adequada na aplicação do emboço paulista foi definida para cada porcentagem de substituição proposta.

O emboço paulista, também denominado massa única, conforme explicita Narciso (2006):

“é o revestimento com acabamento em pintura executado em uma única camada. Neste caso, a argamassa utilizada e a técnica de execução deverão resultar em um revestimento capaz de cumprir as funções tanto do emboço quanto do reboco, ou seja, regularização da base e acabamento”.

3.1. Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram usados os seguintes materiais: Cimento de alto forno (CP III), Cal hidratada tipo I, Água potável, Areia de cava peneirada (malha 1,2 mm). E agregado reciclado proveniente da britagem de material cimentício (ARC), miúdo, também peneirado na mesma abertura de malha.

A coleta do agregado reciclado foi feita na usina recicladora de Várzea Paulista – São Paulo e, por sua vez, a areia natural de cava, tida como média, no comércio varejista de Campinas.

Para a caracterização dos materiais foram executados os seguintes ensaios:

Para o Cimento foi determinada a massa específica conforme a NBR NBRNM23: 2001 (ABNT, 2001), obtendo-se um valor de $3,03 \text{ g/cm}^3$.

Para massa específica da cal hidratada adotou-se o valor de $2,58 \text{ g/cm}^3$, baseado nas informações do fabricante (Votorantim, sd).

Para os agregados foram determinadas:

- ✓ Granulometria - NBR MN 248:2003;
- ✓ Massa Unitária e Massa Específica - NBRNM 52:2009;
- ✓ Teor de Finos - NBR NM 46:2003;
- ✓ Capacidade de absorção de água - NBR NM 30:2001.

Para avaliação das características dos agregados, tendo em vista as variações inerentes ao processo, foram realizadas várias repetições dos ensaios para cada amostra com o intuito de obter resultados mais confiáveis. As repetições dos ensaios possibilitaram obter um valor médio os quais foram utilizados nos cálculos e na discussão dos resultados da pesquisa.

A avaliação e classificação dos agregados foram baseadas na NBR 15116:2004 para o agregado reciclado e segundo a NBR 7211:2009 para o agregado natural.

3.1.1. Caracterização dos agregados

A Tabela 5 apresenta as características de massa específica, massa unitária e teor de finos dos agregados natural e reciclado. Observa-se que o agregado reciclado apresenta menor massa específica e massa unitária que o agregado natural. O teor de finos do agregado reciclado é muito elevado quando comparado ao do agregado natural, o que acarretou em maior consumo de água para obtenção da mesma consistência durante o estudo das argamassas.

Tabela 5. Características Físicas dos agregados

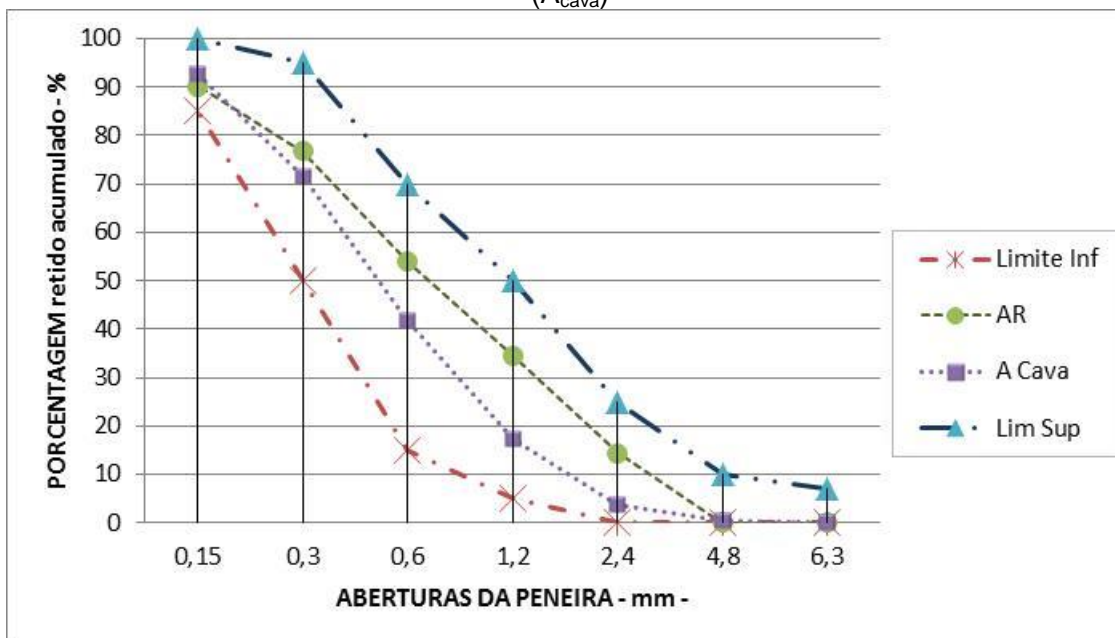
Agregados	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Teor de Finos (%)	Capacidade de Absorção (%)
Natural	2,65	1,54	7,47	1,5
Reciclado	2,38	1,24	26,64	10,5

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dos agregados miúdos, o reciclado proveniente da unidade recicladora de Várzea Paulista e o agregado natural, areia de cava adquirido no comércio varejista de Campinas. Observa-se que o material agregado reciclado apresentou diâmetro máximo de 4,8mm e módulo de finura de 2,70 o que o classifica como areia na zona ótima utilizável (que equivale à areia média). Classificado como areia média foi necessário processar o material para eliminar partículas com diâmetro superior a 1,2mm de forma a se obter um material compatível ao processo de produção de argamassa de acabamento. A granulometria deverá ser similar ao do agregado miúdo natural escolhido para execução da argamassa de revestimento. O agregado natural apresentou diâmetro máximo de 2,4mm e módulo de finura de 2,27 o que o classifica também como areia média e por tanto foi feito o mesmo procedimento de preparo executado para o agregado reciclado.

Observa-se na Figura 2 os limites superior e inferior para a classificação do agregado miúdo conforme a NBR 7211:2009 (ABNT, 2009) e as curvas

referentes aos agregados natural e reciclado, os quais se encontram dentro da zona utilizável.

Figura 2. Curvas granulométricas do agregado reciclado (AR) e da areia de cava (A_{cava})



3.2. Delineamento da pesquisa

A fase de experimentação da pesquisa foi executada nas dependências do Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Engenharia Civil, pertencente ao Centro de Ciências Exatas, Ambiental e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, e realizada em três etapas, a saber:

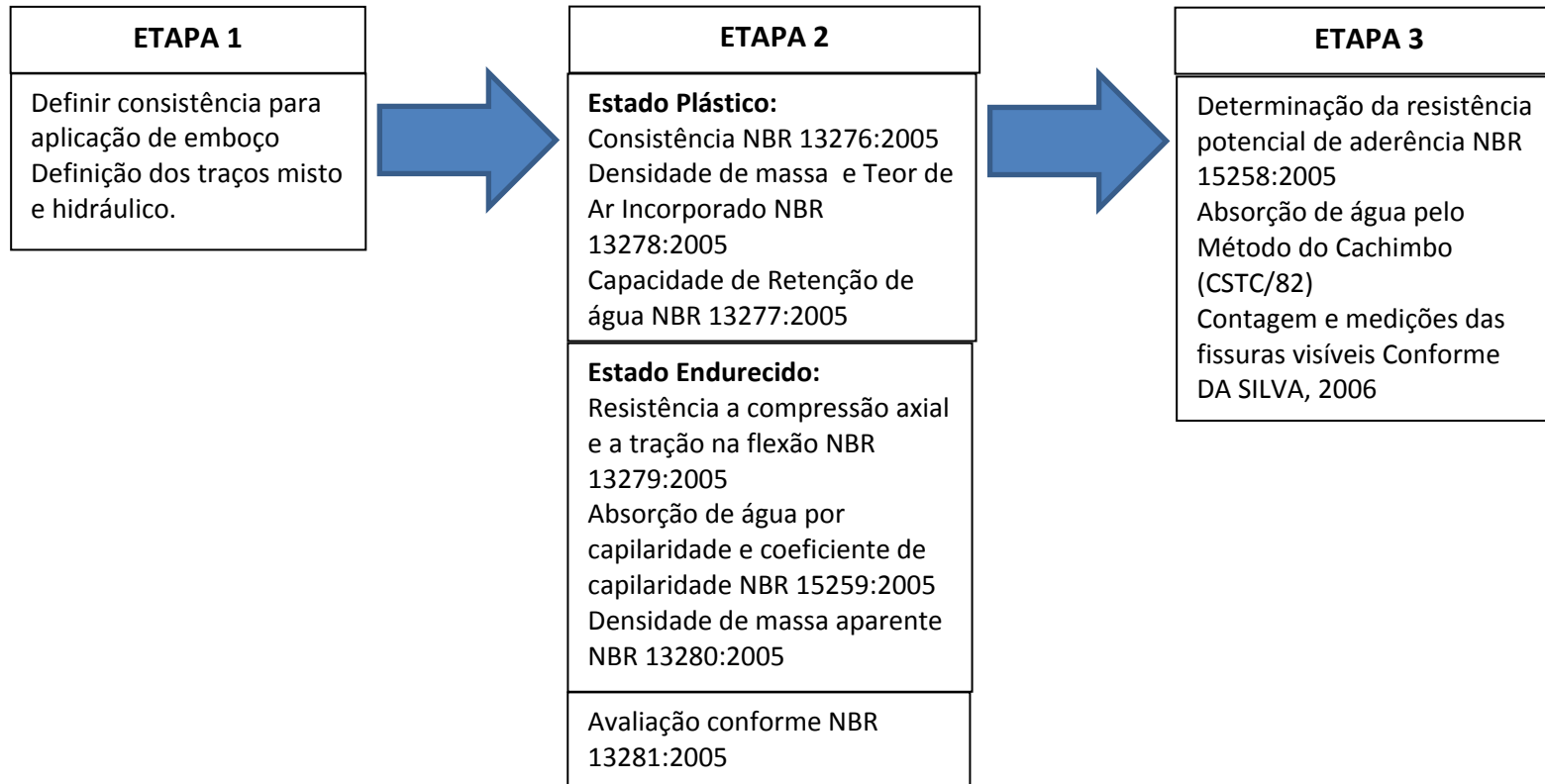
Etapa 1: Definição da composição e da consistência das argamassas de referência, mista e hidráulica;

Etapa 2: Caracterização das argamassas no estado plástico e no estado endurecido,

Etapa 3: Avaliação da aplicabilidade das argamassas.

O planejamento experimental da pesquisa é apresentado esquematicamente na Figura 3.

Figura 3. Planejamento Experimental



A Etapa1 ocupou-se da determinação da consistência das argamassas mista e hidráulica para aplicação como emboço paulista, revestimento em camada única. Assim, solicitou-se a dois profissionais que preparassem as argamassas e logo após a preparação foi determinada a consistência conforme a NBR 13276:2005. Para ambas as argamassas obteve-se um espalhamento de 260 ± 10 mm, a qual foi adotada para determinação da quantidade de água em todos os traços.

Os traços adotados são apresentados na Tabela 6 e foram definidos a partir das informações dos pedreiros consultados e da literatura consultada, De Milito (2014) e Miranda (2000).

Tabela 6. Traço unitário em volume.

	Cimento	Cal	Areia	Água	Consistência (mm)
Arg Mista	1	3	8	4,43	260 ± 10
Arg Hidráulica	1	0	4,5	1,21	260 ± 10

Os traços unitários em volume foram transformados em traços unitários em massa utilizando-se as massas unitárias dos agregados apresentados na Tabela 5. Os traços em massa são apresentados na Tabela 7, juntamente com o fator a/c e o respectivo consumo de cimento e teor de finos da argamassa, calculado conforme equação 2.

Baseado nos traços referência apresentados, foram calculados os traços com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado nas proporções de 30%, 60% e 100 %, resultando os traços unitários em massa apresentados na Tabela 7. Os valores de substituição foram definidos baseado em Rudnitski et al. (2013) e Narciso (2006).

O consumo de cimento (C_c) para cada traço, apresentado na Tabela 7, foi determinado conforme a Equação 1 (HELENE e TERZIAN, 1992) como existe uma diferença significativa entre a massa específica do agregado natural e do agregado reciclado, a substituição do agregado natural pelo reciclado foi feita de forma a não alterar o volume final do mesmo.

$$C_c = \frac{1000}{\left[\frac{1}{\gamma_c} + \frac{aN}{\gamma aN} + \frac{aR}{\gamma aR} + \frac{a}{c} \right]} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

1, a_N e a_R são índices do traço em massa;

γ_c é a massa específica do cimento;

γ_{aN} é a massa específica do agregado natural;

γ_{aR} é a massa específica do agregado reciclado.

O Teor de Finos em cada traço de argamassa (TF) foi calculado pela Equação 2, adaptado de Miranda (2000) baseado no teor de finos de cada agregado, (que para o agregado natural o teor de finos foi determinado em 7,47% e para o agregado reciclado, em 26,64%), e nas porcentagens de substituição – 0%, 30%, 60% e 100%.

$$TF = \frac{\%Sub * TF_{aR} + (100 - \%Sub) * TF_{aN}}{100} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

%sub – porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado;

TF_{aR} - Teor de Finos do agregado reciclado;

TF_{aN} - Teor de Finos do agregado Natural.

Tabela 7. Traços Unitários em massa

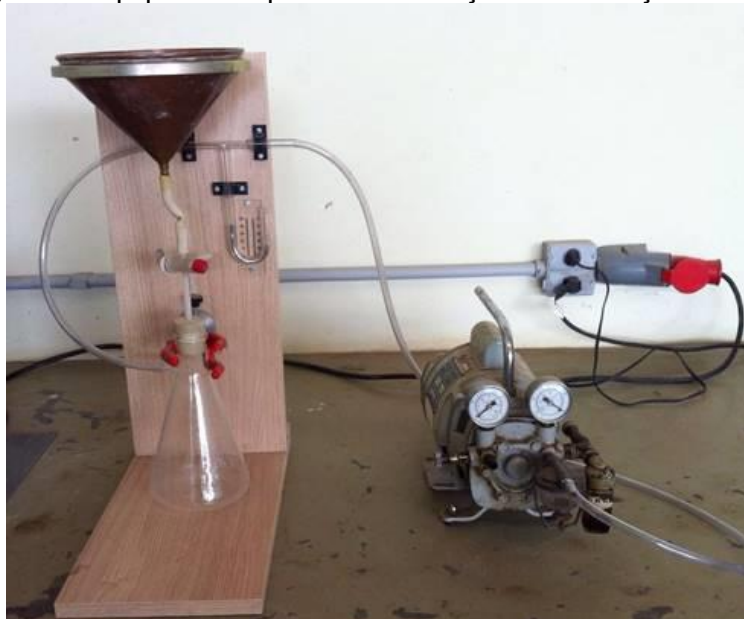
Traço		Cimento	Cal	Areia	ARC	a/c	Cc (kg/m ³)	TF (%)
Hidráulica	Ref	1	-	6,1	-	1,21	261,7	7,5
	30%	1	-	4,27	1,83	1,45	241,5	13,2
	60%	1	-	2,44	3,66	1,87	216,0	19,0
	100%	1	-	-	6,1	2,74	178,6	26,6
Mista	Ref	1	2,20	16,03	-	4,34	83,4	7,5
	30%	1	2,20	11,41	4,62	4,87	82,1	13,2
	60%	1	2,20	6,41	9,62	5,27	80,9	19,0
	100%	1	2,20	-	16,03	5,90	79,1	26,6

Na Etapa 2 passou-se aos ensaios especificados pela NBR 13281:2005, (ABNT, 2005) que trata dos requisitos da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Foram realizados ensaios para caracterização no estado plástico e no estado endurecido. No estado plástico, determinou-se a massa específica e a consistência da argamassa o teor de ar incorporado e a capacidade de

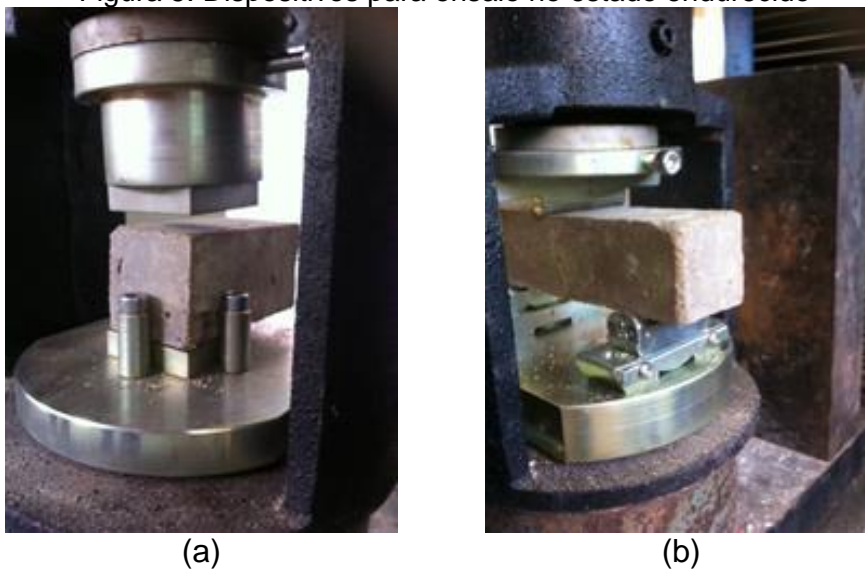
retenção de água. A Figura 4 apresenta o equipamento para determinação da capacidade de Retenção de água conforme a NBR 13277:2005.

Figura 4. Equipamento para determinação da Retenção de água.



No estado endurecido foram determinadas, a resistência à compressão axial, a resistência à tração na flexão além da capacidade de absorção de água por capilaridade e a densidade de massa aparente no estado endurecido, na Figura 3 são apresentadas as normas de ensaio para obtenção de cada parâmetro. A Figura 5(a) mostra ensaio para determinação da resistência a compressão axial e a Figura 5(b) apresenta o dispositivo para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão, ambos conforme NBR 13279:2005 (ABNT, 2005).

Figura 5. Dispositivos para ensaio no estado endurecido



A Figura 6 mostra o ensaio para determinação da capacidade de absorção de água por capilaridade.

Figura 6. Determinação da capacidade de absorção de água por capilaridade



Nesta parte da pesquisa, foram determinadas as quantidades de corpos de provas para proceder-se aos ensaios. A Tabela 8 demonstra o número de repetições para cada amostra.

Tabela 8. Delineamento experimental do número de repetições/amostras

Estado	Característica	Argamassa Hidráulica				Argamassa Mista			
		Ref	30	60	100	Ref	30	60	100
Estado Plástico	Consistência	1	1	1	1	1	1	1	1
	Massa Específica	3	3	3	3	3	3	3	3
	Teor de ar incorporado	3	3	3	3	3	3	3	3
	CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA	1	1	1	1	1	1	1	1
Estado Endurecido	Resist Comp 28 dias	6	6	6	6	6	6	6	6
	Tração na flexão 28 dias	3	3	3	3	3	3	3	3
	Absorção por imersão	3	3	3	3	3	3	3	3
	Absorção por capilaridade	3	3	3	3	3	3	3	3
	Densidade de massa aparente	3	3	3	3	3	3	3	3
	Resistência de aderência	9	9	9	9	9	9	9	9
	Absorção pelo met do cachimbo	1	1	1	1	1	1	1	1
	Fissuras visíveis	1	1	1	1	1	1	1	1

Na Etapa 3 avaliou-se a aplicabilidade das argamassas em estudo preparadas de acordo com a Tabela 7, para isso as argamassas foram aplicadas em alvenaria de blocos de concreto, em ambos os casos, antes da aplicação da argamassa foi aplicada uma camada de chapisco, traço 1:3 conforme metodologia corrente em obra e procedimentos especificados pela NBR 15258:2005 (ABNT, 2005) que define a metodologia de ensaio para determinação da resistência de aderência.

Para aplicação das argamassas em paredes, foram utilizados 4 módulos de alvenaria nas dimensões de 0,40 x 1,80 m, construídos com blocos de concreto simples de 14 x 29 x 19 cm, assentados com argamassa tradicional de areia média natural e cimento no traço 1:3 e armados com duas barras de aço CA 50 de Ø 10 mm. A Figura 7 mostra uma das paredes já com o revestimento aplicado.

Figura 7. Parede de bloco de concreto.



As dimensões adotadas para as paredes de ensaios foram definidas a partir da área necessária para a colagem das pastilhas de arrancamento dos ensaios de aderência, e a distância de mínima entre elas que era de 5 centímetros.

As paredes foram construídas em local coberto no Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade, com o intuito de protegê-las das intempéries. Também foram tomados todos os cuidados para que os revestimentos ensaiados ficassem imunes a possíveis deformações ocasionadas por recalques das fundações ou dilatações, que poderiam interferir nos ensaios das argamassas aplicadas.

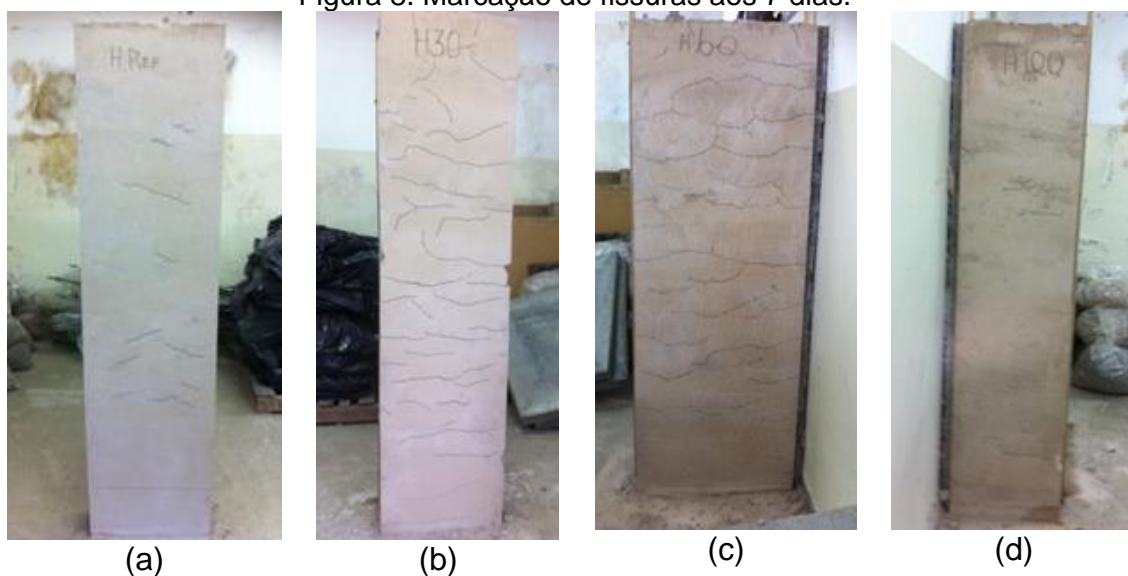
A espessura dos revestimentos ensaiados foi definida em 2 cm obedecendo as recomendações da NBR 13749:2013 (ABNT, 2013). Para isso, foram fixadas régua uma em cada lado das paredes, servindo como guias para definir a espessura dos revestimentos.

Primeiramente foi aplicada uma demão de chapisco feito com areia grossa natural e cimento na proporção de traço 1:3. Depois de 48 horas de descanso, foi umedecida e aplicada então a demão da argamassa em estudo seguindo os passos sequenciais característicos do revestimento de massa única, tipo *paulista*, que, após sarrafeado e desempenado está pronto para receber o acabamento final.

As variáveis analisadas nesta etapa foram o índice de fissuração e a capacidade de absorção pelo método do cachimbo e a resistência de aderência.

O Índice de Fissuração foi determinado aos 7 dias de idade. Foram medidos o comprimento total de fissuras na parede e este valor dividido pela área do painel, conforme Miranda (2000). A Figura 8 apresenta a marcação das fissuras medidas aos 7 dias para as argamassas hidráulicas, sendo 8(a) traço referencia, 8(b) traço com 30% de substituição, 8(c) com 60% de substituição e 8(d) com 100% de substituição.

Figura 8. Marcação de fissuras aos 7 dias.



A determinação da absorção de água pelo método do cachimbo foi executada conforme procedimentos usados por Da Silva (2006).

A Figura 9 mostra a fixação do dispositivo para medida da permeabilidade, para o qual, a pressão inicial de 92 mm de coluna de água, equivale à ação estática de um vento com velocidade de 140 km/hora segundo Dias e Carasek (2003).

Figura 9. Cachimbo de vidro graduado.



A Resistência de aderência foi determinada conforme a NBR 15258:2005, utilizando aparelho para arrancamento digital com microprocessador de faixa de trabalho de 0 a 15000N e velocidade constante regulável. A Figura 10 mostra o equipamento, sendo 10(a) o dispositivo de arrancamento e 10(b) o microprocessador que faz a aquisição dos dados.

Figura 10. Aparelho para ensaio de arrancamento



(a)



(b)

3.3. Metodologia de Análise dos Resultados

Na análise dos resultados obtidos foi determinada a média e o desvio padrão das variáveis das argamassas no estado endurecido e no estado plástico para as quais ocorreram 3 ou mais repetições.

As variáveis obtidas, tanto no estado plástico como no endurecido, foram comparadas entre si em função do tipo de argamassa, hidráulica ou mista, e em relação ao teor de substituição, 0%, 30%, 60% e 100%.

Segundo Correa (2003) a correlação linear é uma correlação entre duas variáveis, cujo gráfico aproxima-se de uma linha. O coeficiente de correlação linear pode ser apresentado como uma medida de correlação, pois tem como objetivo indicar o nível de intensidade que ocorre na correlação entre as variáveis. O coeficiente de correlação linear pode ser positivo ou negativo. O sinal positivo do coeficiente de correlação linear indica que o sentido da correlação corresponde a uma reta de inclinação descendente, e o sinal negativo corresponde a uma reta de inclinação ascendente. Uma das formas de medir o coeficiente de correlação linear foi desenvolvida por Pearson e recebe seu nome, coeficiente de correlação de Pearson, indicado por R^2 . Esse coeficiente de correlação mede o grau de ajustamento dos valores em torno de uma reta. Quanto mais próximo o valor de r estiver do valor "1", mais forte a correlação linear mais forte a dependência entre as duas variáveis. Quanto mais próximo o valor de r estiver do valor "0", mais fraca a correlação linear, entende-se, portanto que uma variável independe da outra. Segundo Correa (2003), se R^2 for maior que 0,6, existe forte dependência entre as variáveis.

Foram feitas análises de correlação entre o Teor de Finos de cada traço e as seguintes variáveis:

- ✓ No estado plástico, Massa Específica, Retenção de água e teor de ar incorporado.
- ✓ No estado endurecido, Resistência a Tração na Flexão, à Compressão Axial, Densidade de massa aparente e coeficiente de capilaridade.
- ✓ Ensaio de aplicabilidade, índice de fissuração e permeabilidade pelo método do cachimbo.

4. RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais executados no Laboratório de Estruturas e Materiais da Faculdade de Engenharia Civil da PUC-Campinas, onde foram realizados ensaios experimentais das argamassas hidráulicas e mistas, preparadas com teores de substituição de 0%, 30%, 60% e 100% do agregado natural pelo agregado reciclado, são apresentados e discutidos.

4.1 Características no estado plástico

Foram avaliados os seguintes aspectos:

- ✓ Massa Específica (Densidade de massa);
- ✓ Retenção de água;
- ✓ Consistência;
- ✓ Teor de ar incorporado.

Todas as variáveis foram correlacionadas com o teor de finos da argamassa, calculado conforme a Equação 2 e apresentados na Tabela 7.

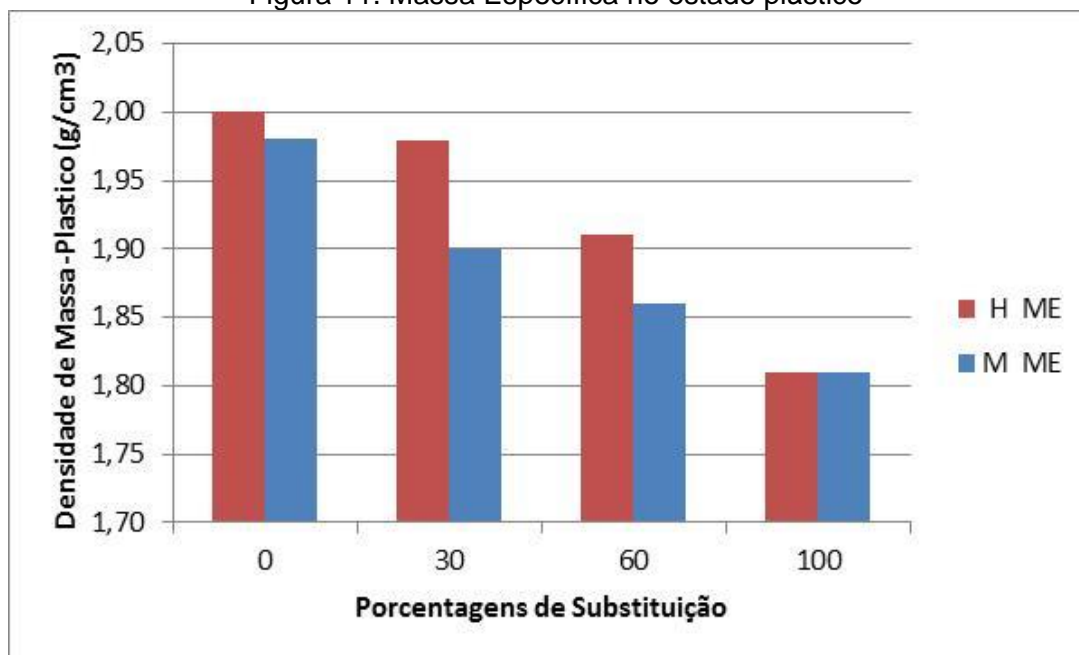
4.1.1. Massa Específica

A Tabela 9 apresenta os resultados de massa específica obtidas para todos os traços de argamassa. Observa-se que os traços de argamassa mista apresentam menores massa específica que os traços de argamassa hidráulica e que a medida que se aumenta a porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado, essa diferença tende a diminuir. O que pode ser observado no gráfico da Figura 11

Tabela 9. Resultados de massa específica

Traço	Arg. Hidráulica	Arg. Mista
	Massa esp (g/cm ³)	Massa esp (g/cm ³)
0 %	2,000	1,975
30 %	1,980	1,900
60 %	1,910	1,864
100 %	1,810	1,810

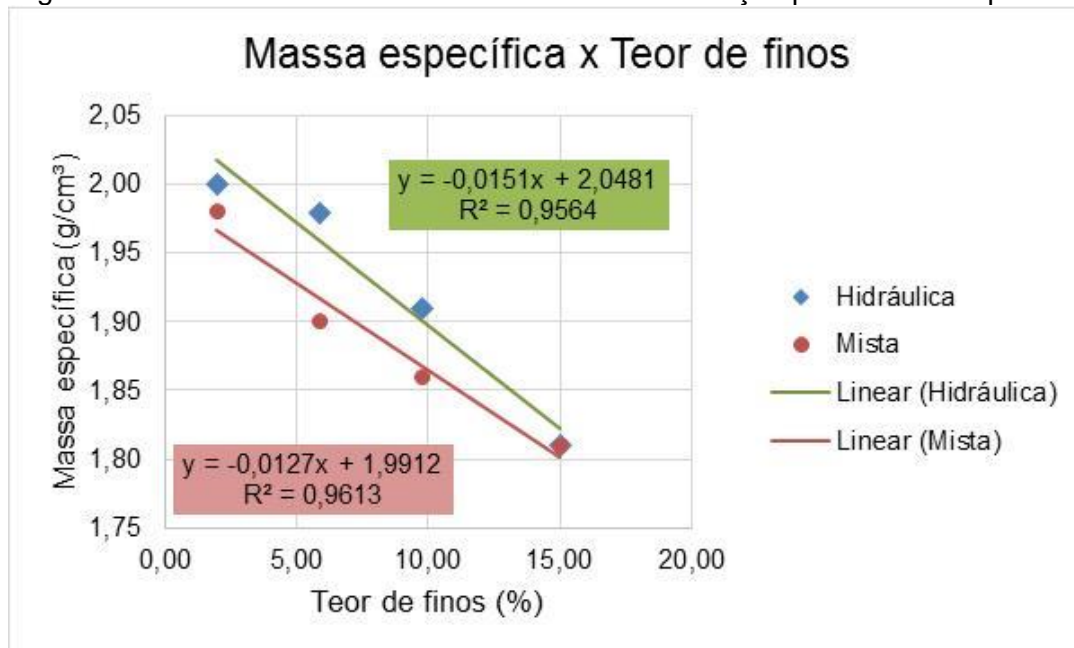
Figura 11. Massa Específica no estado plástico



Observou-se que existe forte correlação entre o teor de finos e a massa específica, indicado pelo coeficiente de correlação (R^2) acima de 0,6. O gráfico apresentado na Figura 12 mostra a linha de tendência e os coeficientes de correlação para as argamassas hidráulica e mista. Essa tendência de redução da massa específica se justifica pela menor massa específica do agregado reciclado ($2,33 \text{ g/cm}^3$) em relação ao agregado natural ($2,66 \text{ g/cm}^3$).

Segundo a NBR 13281:2005 (ABNT, 2005) tanto as argamassas hidráulicas como as mistas se enquadraram na classe D4, com massa específica no estado plástico entre 1600 e 2000 kg/m^3 .

Figura 12. Linhas de Tendência e coeficiente de correlação para Massa Específica



A Tabela 10 apresenta os coeficientes de correlação (R^2) de todas as variáveis no estado plástico. No Anexo 1 são apresentados todos os gráficos de correlação.

Conforme se observa na Tabela 10, apenas a variável Massa Específica é estatisticamente influenciada pelo Teor de Finos dos agregados, tanto para a argamassa hidráulica como para a argamassa mista.

O Teor de Ar Incorporado é influenciado pelo Teor de Finos apenas para a argamassa mista e a Retenção de Água é influenciada pelo teor de finos apenas para a argamassa hidráulica.

Tabela 10. Coeficientes de Correlação (R^2) entre Teor de Finos e variáveis no estado plástico

	Arg. Hidráulica	Arg. Mista
Massa Específica	0,9564	0,9613
Consistência	0,3338	0,0003
Teor de Ar Incorporado	0,0998	0,8997
Retenção de água	0,9139	0,1216

4.1.2. Consistência

O Índice de Consistência das argamassas é apresentado na Tabela 11 juntamente com as relações água/cimento de cada argamassa. Como a

relação a/c foi variada com o intuito de se obter o índice de consistência necessário para torná-la aplicável como argamassa de revestimento, não se observou a correlação entre o teor de finos e essa característica ($R^2 < 0,6$).

Tabela 11. Índice de Consistência

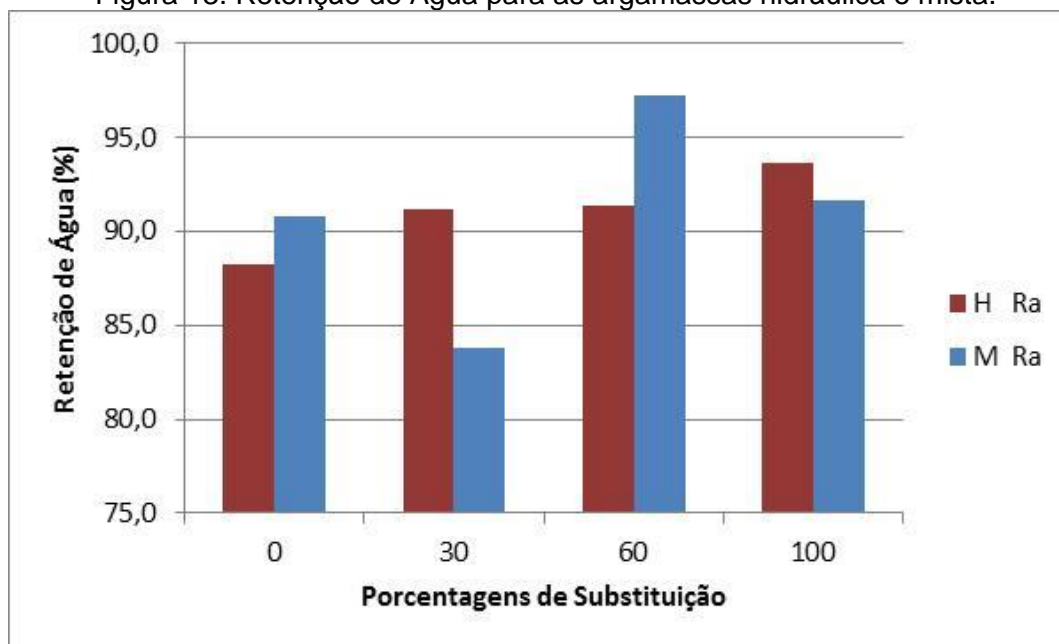
Traço	Arg. Hidráulica		Arg. Mista	
	a/c	Consistência (mm)	a/c	Consistência (mm)
0	1,21	279,3	4,34	258,3
30	1,45	250,0	4,87	259,6
60	1,87	261,3	5,27	253,1
100	2,74	256,0	5,90	260,4

4.1.3. Retenção de Água

Com relação à Retenção de Água, para a argamassa hidráulica observou-se que à medida que se aumenta a porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado, e conseqüentemente aumentando o teor de finos, essa variável aumenta, existindo forte correlação entre o teor de finos e ela ($R^2 = 0,9139$). A ausência de correlação entre essa variável e o teor de finos para a argamassa mista deve se justificar pela presença da cal que propicia uma maior retenção de água. A Figura 13 apresenta os gráficos de Retenção de água para as argamassas hidráulica e mista.

É importante lembrar que a retenção de água pela argamassa é um fator que confere maior qualidade para a argamassa, uma vez que evita a evaporação da água de amassamento e minimiza o efeito de perda de água devido a sucção do substrato. Nestas condições, contribui na hidratação do cimento, resultando maior resistência do revestimento.

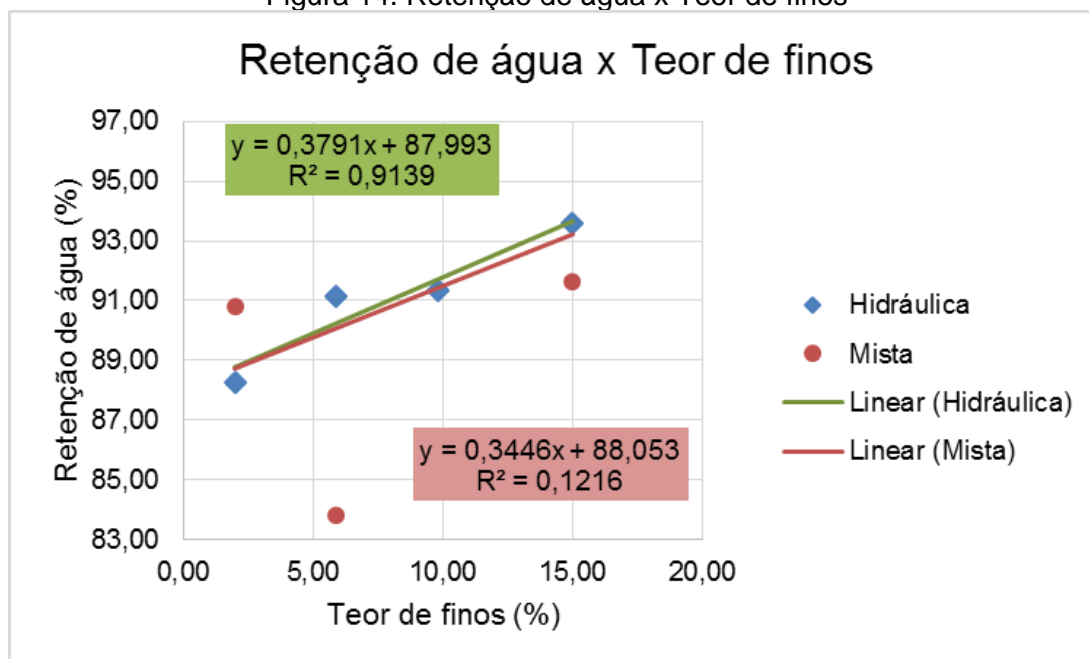
Figura 13. Retenção de Água para as argamassas hidráulica e mista.



Segundo a NBR 13281:2005 (ABNT, 2005) tanto as argamassas hidráulicas como as mistas se enquadraram na classe U4, com retenção de água entre 86 e 94%.

A Figura 14 apresenta o gráfico de correlação entre o Teor de Finos e a capacidade de retenção de água para os traços de argamassa hidráulica e mista.

Figura 14. Retenção de água x Teor de finos



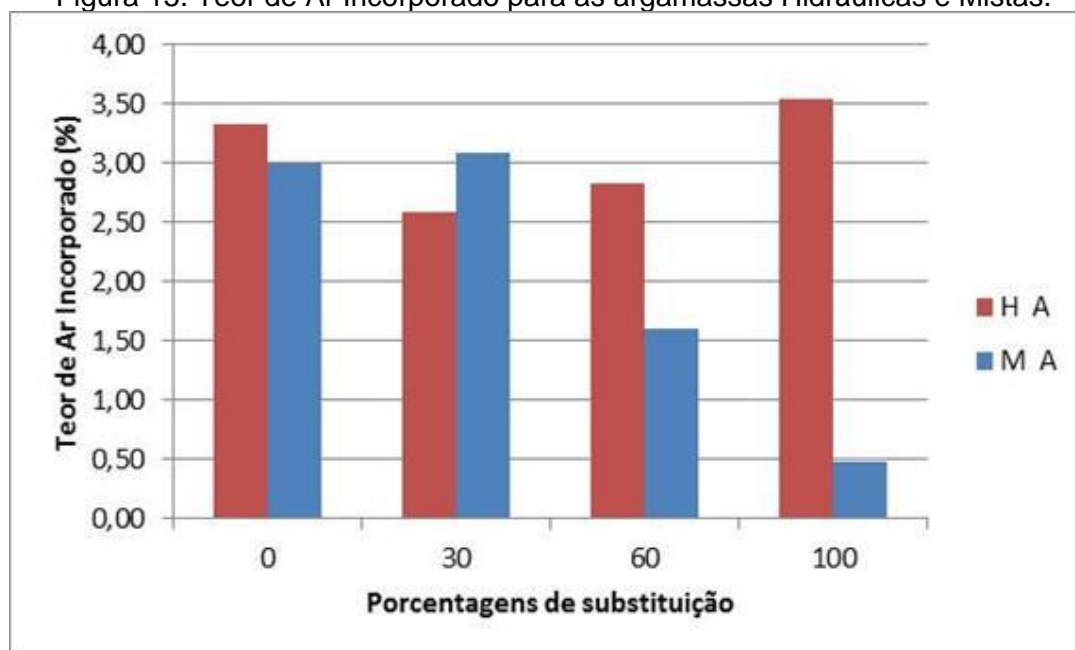
4.1.4. Teor de Ar Incorporado

O teor do ar incorporado, conforme recomendado pela NBR 13278:2005, foi determinado a partir da massa específica das argamassas. Esta característica influencia na consistência das argamassas, normalmente quanto maior o teor de ar incorporado maior a plasticidade.

A Figura 15 apresenta os resultados referentes ao teor do ar incorporado nas argamassas hidráulicas e mistas. Observa-se que para a argamassa mista existe uma tendência de redução do teor de ar incorporado a medida que se aumenta o teor substituição do agregado natural pelo reciclado, essa dependência entre a característica “Teor de ar incorporado” e o Teor de Finos se evidencia pelo coeficiente de correlação R^2 superior a 0,6. Já para argamassa hidráulica não existe correlação. Observa-se que, em comparação com a argamassa referência, houve uma redução do Teor do Ar Incorporado no traço de 30% de substituição, e para as substituições de 60% e 100% houve um aumento do teor de ar incorporado.

A NBR 13281:2005 não apresenta classificação para essa característica.

Figura 15. Teor de Ar Incorporado para as argamassas Hidráulicas e Mistas.



4.2 Características no estado endurecido

Foram avaliados os seguintes aspectos:

- ✓ Densidade de Massa Aparente no estado endurecido;
- ✓ Resistência à Compressão;
- ✓ Resistência à Tração na Flexão;
- ✓ Coeficiente de Capilaridade.

Todas as variáveis foram correlacionadas com o teor de finos da argamassa. A Tabela 12 apresenta os coeficientes de correlação (R^2) para todas as variáveis avaliadas, tanto para argamassa Mista como para a Hidráulica.

Tabela 12. Coeficientes de correlação entre Teor de Finos e variáveis no estado endurecido (R^2)

Características	Arg. Hidráulica	Arg. Mista
Tração na Flexão	0,7767	0,0063
Compressão Axial	0,1376	0,5965
Massa Específica	0,9926	0,9687
Coef. De Capilaridade	0,9775	0,883

4.2.1 Densidade de Massa Aparente no estado endurecido

Baseado na NBR 13281:2005 (ABNT, 2005), foram executados ensaios para determinação da densidade massa aparente, usando corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm, conforme especificado pela NBR 13280:2005.

A Tabela 13 apresenta os valores médios e respectivos desvios padrão, resultantes de 3 repetições de ensaio para cada tipo de argamassa. O valor do desvio padrão é baixo, mostrando que o resultado dos ensaios foi confiável.

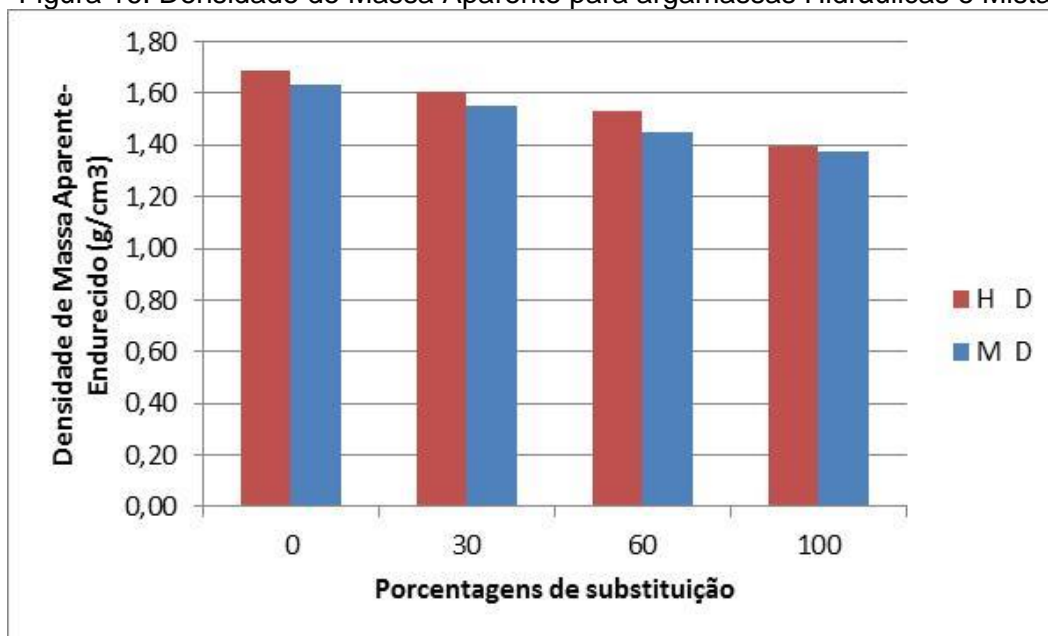
Tabela 13. Resultados dos ensaios de determinação da Densidade de Massa Aparente

Densidade de Massa Aparente (g/cm^3)				
% subst	Hidráulica		Mista	
	Média	SD	Média	SD
0	1,69	0,03	1,63	0,02
30	1,60	0,01	1,55	0,00
60	1,53	0,01	1,45	0,03
100	1,39	0,02	1,37	0,01

Segundo a NBR 13281:2005 (ABNT, 2005), as argamassas Hidráulica e Mista sem substituição (0%) são classificadas como M4 com densidade variando de 1400 a 1800 kg/m³. As argamassas Hidráulica e Mista, com porcentagens de substituição se enquadram na classe M3, com densidade variando de 1200 a 1600 kg/m³.

A Figura 16 apresenta os valores médios quanto à densidade de massa aparente aos 28 dias, tanto para a argamassa hidráulica como para a mista. Observa-se que a Densidade de Massa Aparente é menor para as argamassas mistas, e que a tendência de redução da densidade de massa aparente em função da porcentagem de substituição ocorre para os dois tipos de argamassa.

Figura 16. Densidade de Massa Aparente para argamassas Hidráulicas e Mistas

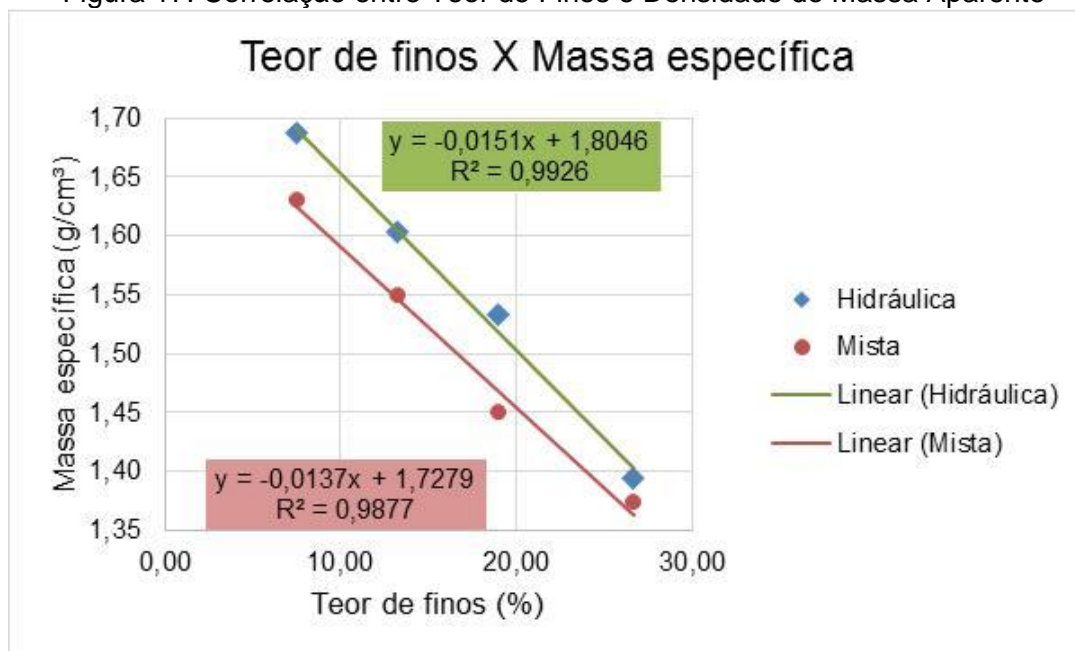


Os resultados obtidos por Samiei et al. (2015) foi análogo aos obtidos neste trabalho, mostrando a mesma tendência de decréscimo da densidade aparente no estado endurecido, tanto, para a argamassa hidráulica, quanto da argamassa mista em função do aumento da porcentagem de substituição. Para 100% de substituição do agregado natural, os autores obtiveram uma redução de 19% da densidade aparente para argamassa mista e 21% para argamassa hidráulica.

A redução da densidade aparente no estado endurecido se deve ao fato, que a massa específica do agregado reciclado ($2,33 \text{ g/cm}^3$) é menor que do agregado natural ($2,66 \text{ g/cm}^3$)

A análise de correlação entre a variável Densidade de Massa Aparente e o Teor de Finos da argamassa apontou que existe forte correlação, R^2 superior a 0,6 para os dois tipos de argamassa, com pode ser observado na Figura 17.

Figura 17. Correlação entre Teor de Finos e Densidade de Massa Aparente



4.2.2 Resistência à tração na flexão

Baseado na NBR 13279:2005, foram executados ensaios de resistência à tração na flexão, usando três corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm, para ruptura aos 28 dias. A Tabela 14 apresenta os valores médios do ensaio para cada tipo de argamassa e porcentagem de substituição, além dos respectivos desvios padrão (Sd).

Na Figura 18 são apresentados estes resultados, tanto para argamassa hidráulica como para a mista.

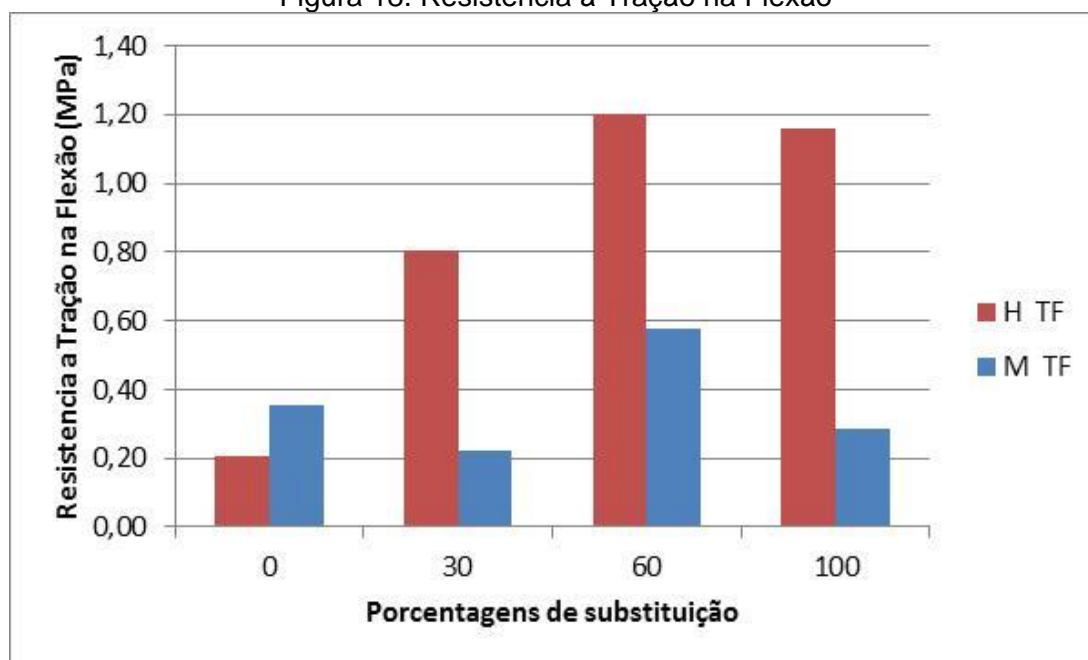
Tabela 14. Resultados dos ensaios de Tração na Flexão

% subst	Arg. Hidráulica		Arg. Mista	
	Media (MPa)	Sd (MPa)	Media (MPa)	Sd (MPa)

0	0,21	0,02	0,35	0,06
30	0,80	0,15	0,22	0,39
60	1,20	0,17	0,58	0,06
100	1,16	0,11	0,29	0,08

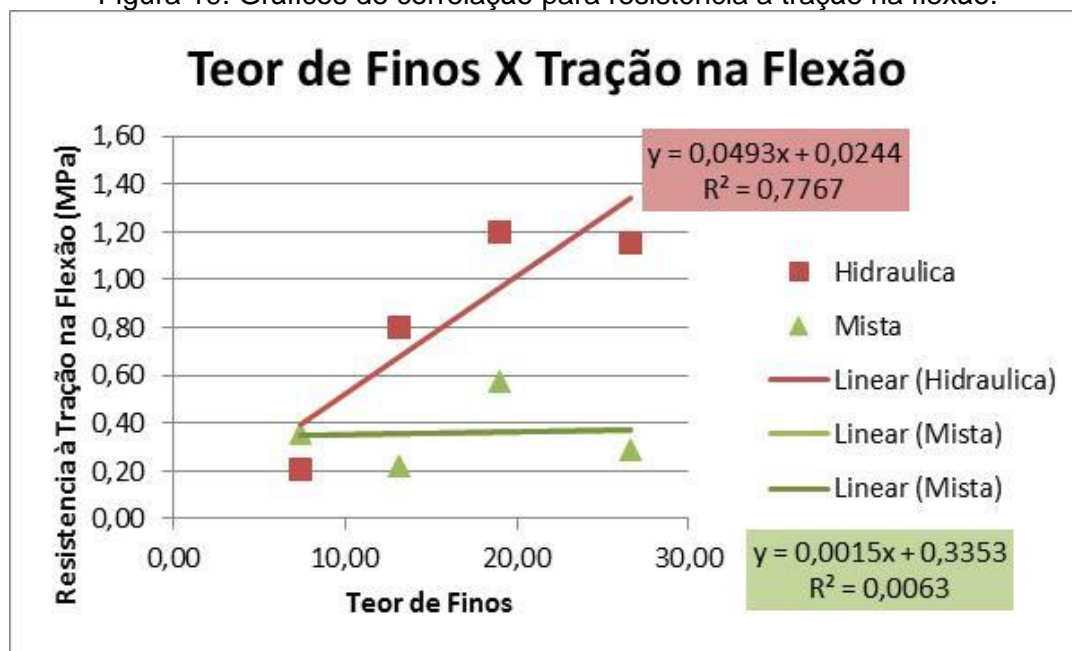
Observa-se que a argamassa hidráulica apresenta maiores resistências à tração que a argamassa mista em função do consumo de cimento ser maior para a argamassa Hidráulica, conforme apresentado na Tabela 7. No entanto para argamassa hidráulica existe um crescimento da resistência com o aumento da porcentagem de substituição até o índice de 60% de substituição. As resistências à tração na flexão tanto para as argamassas hidráulicas, como para as argamassas mistas são classificadas como R1, pois apresentam valores inferiores a 1,5 MPa.

Figura 18. Resistencia à Tração na Flexão



A análise de correlação entre a variável Resistência à Tração e o Teor de Finos da argamassa apontou que somente para a argamassa Hidráulica existe forte correlação, pois R^2 apresenta valor superior a 0,6. A Figura 19 apresenta o gráfico de correlação para as argamassas Hidráulica e Mista.

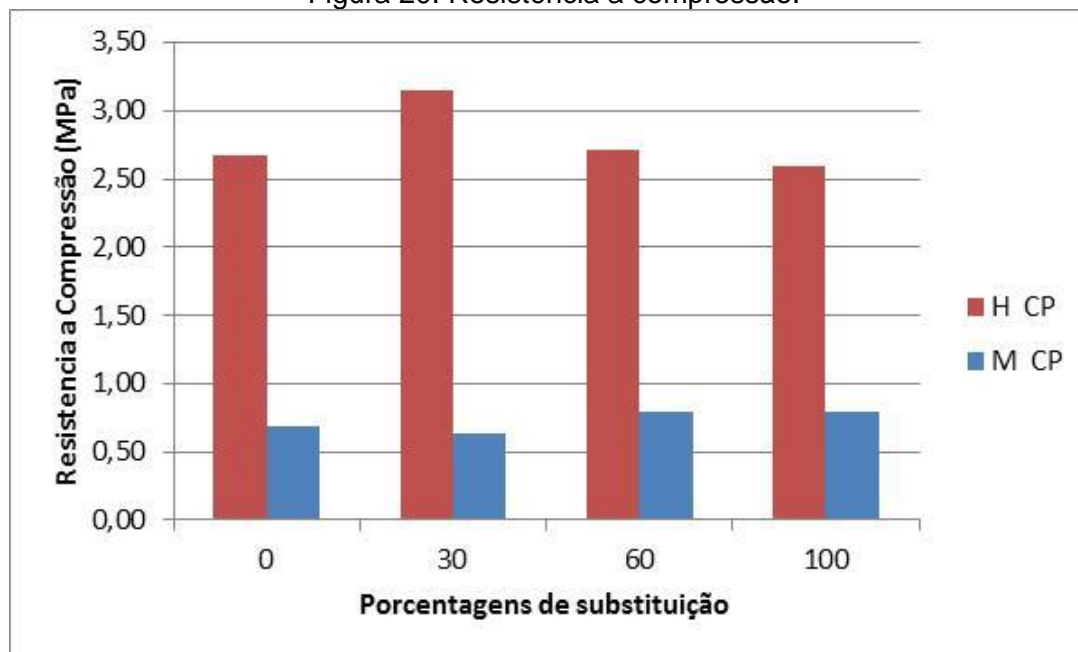
Figura 19. Gráficos de correlação para resistência a tração na flexão.



4.2.3 Resistência à compressão

Foram executados ensaios de resistência à compressão, usando corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm, rompidos aos 28 dias. A Figura 20 apresenta os resultados médios para as argamassas hidráulicas e mistas e na Tabela 15 são apresentados os valores médios e respectivos desvios padrão que demonstram a baixa variabilidade dos resultados dos ensaios.

Figura 20. Resistência a compressão.



Para Martinez et al. (2016), os resultados dos ensaios de resistência à compressão em argamassas hidráulicas com porcentagem 100% substituição apresentaram uma queda, semelhantemente aos resultados obtidos por Ledesma et al. (2015). Sendo para o primeiro, a variação foi de 19 MPa para 12 MPa e para o segundo de 11,5 MPa para 7,8 MPa.

Ledesma et al. (2015) também demonstra que referente às propriedades de resistência à compressão, as argamassas hidráulicas produzidas com agregados finos reciclados apresentaram uma queda, variando de 11,5 MPa para 7,8 MPa com argamassa com 100% de agregado reciclado.

A variação entre os dois traços acima citados é de 3,7 MPa, contrapondo-se com a diferença entre os dois traços pesquisados neste trabalho, tanto no que diz respeito aos valores de resistência a compressão (máxima de 3,16 MPa.), como também em relação à diferença insignificante entre o traço referência e o substituído 100% com reciclado, o qual é de apenas 0,08 MPa. Entretanto, acredita-se que, além de não ser iguais os traços em volume com os traços referência de Ledesma e o deste trabalho, pode-se, ainda dizer que, não se tem uma perfeita comparação entre os agregados miúdos naturais e reciclados que, com os quais, foram produzidas as argamassas para ensaios. Justificando isto, segundo Miranda e Selmo (2001), as principais dificuldades para o uso do entulho é a sua elevada heterogeneidade.

Observa-se que para a argamassa hidráulica a substituição de 30% de agregado natural pelo reciclado proporcionou um aumento de 18% na resistência a compressão e mesmo a substituição de 60%, não proporcionou diferença significativa para o traço referência. Para a argamassa mista, observa-se que apesar da baixa resistência, quanto maior o teor de substituição, maior a resistência, chegando a um aumento de 16% para o traço com 100% de substituição em relação ao traço referencia (0%).

Tabela 15. Resultados dos ensaios de Resistencia a Compressão.

Resistência à Compressão (MPa)				
% subst	Hidráulica		Mista	
	Media	Sd	Media	Sd
0	2,67	0,11	0,69	0,07
30	3,16	0,39	0,63	0,03
60	2,71	0,16	0,79	0,28

100	2,59	0,23	0,80	0,10
-----	------	------	------	------

As argamassas hidráulicas se enquadram na classe P3 de resistência a compressão segundo a NBR 13281:2005, (ABNT, 2005). Já as argamassas mistas se enquadram na classe P1, segundo a mesma norma, com valores de resistência inferiores a 2,0 MPa.

Para esse quesito, em ambos os traços, hidráulico e misto, os resultados indicam a possibilidade de se preparar uma argamassa com 100% de substituição com a qualidade da argamassa referência.

Ledesma et al. (2015) também demonstra que referente às propriedades de resistência à compressão, as argamassas hidráulicas produzidas com agregados finos reciclados apresentaram uma queda, variando de 11,5 MPa para 7,8 MPa com argamassa com 100% de agregado reciclado.

A variação entre os dois traços acima citados é de 3,7 MPa, contrapondo-se com a diferença entre os dois traços pesquisados neste trabalho, tanto no que diz respeito aos valores de resistência a compressão (máxima de 3,16 MPa.), como também em relação à diferença insignificante entre o traço referência e o substituído 100% com reciclado, o qual é de apenas 0,08 MPa. Entretanto, acredita-se que, além de não serem iguais os traços em volume entre os traços referência de Ledesma et al (2015) e o deste trabalho, pode-se, ainda dizer que, não se tem uma perfeita comparação entre os agregados miúdos naturais e reciclados com os quais, foram produzidas as argamassas para ensaios, justificando isto.

Uma observação importante, tendo em vista a análise da resistência à tração na flexão e a resistência à compressão é que a resistência à compressão é uma variável menos importante com relação ao desempenho da argamassa em virtude do fato de que os revestimentos estão muito mais expostos à tração na flexão do que à resistência à compressão, uma vez que a argamassa menos resistente na tração à flexão não poderá absorver pequenos esforços de tensões, principalmente aquelas originadas nos substratos.

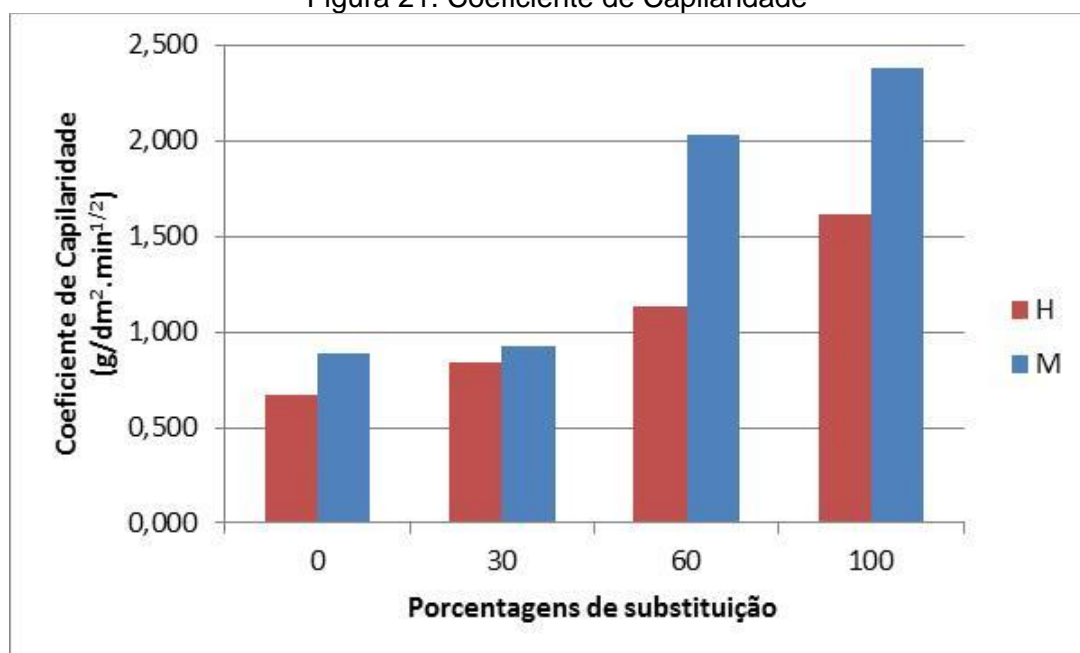
A análise de correlação entre a variável Resistência à Compressão e o Teor de Finos da argamassa apontou que o teor de finos não afeta significativamente a resistência à compressão, pois o coeficiente de correlação é inferior a 0,6 como observado na Tabela 12.

4.2.4 Coeficiente de capilaridade

Foram executados ensaios para a determinação do coeficiente de capilaridade, usando corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm.

A Figura 21 apresenta os resultados quanto ao Coeficiente de capilaridade medidos aos 28 dias de idade. Observa-se que a quantidade de água absorvida aumenta em função do aumento da porcentagem de substituição, tanto para a argamassa hidráulica como para a mista.

Figura 21. Coeficiente de Capilaridade



A Tabela 16 apresenta as médias e desvio padrão do coeficiente de capilaridade obtidos para as três repetições do ensaio aplicada a cada tipo de argamassa. Observa-se que as argamassas hidráulicas apresentaram menor capacidade de absorção capilar que as argamassas mistas.

Segundo a NBR 13281:2005 (ABNT, 2005) as argamassas hidráulicas e as mistas com 0% e 30% de substituição, se enquadram na classe C1 enquanto as argamassas com 60% e 100% são classificados como C2. Já as argamassas mistas com teor de substituição de 60% e 100% são classificadas como C3, com teor de absorção entre 2,0 e 4,0 g/dm².min¹/².

Tabela 16. Resultados dos ensaios de determinação do Coeficiente de Capilaridade

Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2})				
% subst	Arg. Hidráulica		Arg. Mista	
	Media	Sd	Media	Sd
0	0,667	0,013	0,884	0,091
30	0,841	0,132	0,923	0,008
60	1,132	0,127	2,030	0,105
100	1,617	0,151	2,378	0,040

Os resultados obtidos neste trabalho para os ensaios de absorção de água por capilaridade evidenciaram que quanto maior a porcentagem de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, maior é a absorção por capilaridade. Esta observação coincide com a conclusão a que chegou Ledesma et al. (2015), onde os seus resultados ficaram variando de 6,0 g/(dm²min^{1/2}) a 11,2 g/(dm²min^{1/2}) na argamassa com 100% de agregado reciclado. Neste estudo os resultados variaram de 0.66 g/(dm².min^{1/2}) para 1,61 g/(dm².min^{1/2}).

Tendo como referência Da Silva (2001) o coeficiente de capilaridade do traço que mais se assemelha com o traço de argamassa mista deste estudo, foi o T7 (1: 3 : 8), o qual variou de 20 a 40 g/(dm²min^{1/2}), classificado conforme a norma NBR 13281:2005 como classe C6. Enquanto que o resultado deste estudo, a argamassa mista foi classificada somente para as substituições de agregado natural pelo agregado reciclado nas proporções de 60 % e 100 %, como classe C3, com os resultados, 2,030 g/(dm².min^{1/2}) e 2,378 g/(dm².min^{1/2}) respectivamente.

Segundo, Samiei et al. (2015), a argamassa hidráulica apresenta menores taxas de absorção de água por capilaridade, que é crescente de acordo com o aumento da proporção de substituição, que variou de 10 g/(dm²min^{1/2}) para 2,1 g/(dm²min^{1/2}).

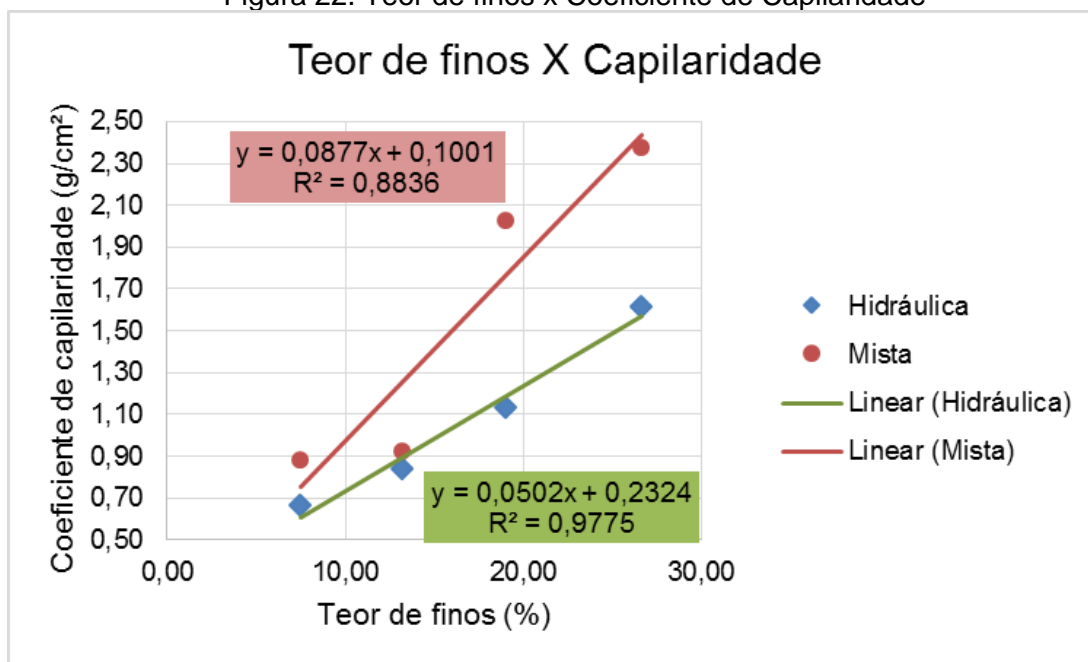
A análise de correlação entre o Teor de finos e a característica coeficiente de capilaridade, apresentou coeficiente de correlação R² superior a 0,6, conforme Tabela 12, mostrando que a capacidade de absorção capilar aumenta em função do aumento do teor de finos.

O aumento da capacidade de absorção capilar pode ser prejudicial à durabilidade do revestimento, com isso somente o teor de substituição de 30%,

tanto para a argamassa hidráulica como para a mista tem o mesmo desempenho que a argamassa referência.

A análise de correlação entre a variável Teor de Finos e o Coeficiente de Capilaridade das argamassas, apontou que existe forte correlação, R^2 superior a 0,6 para os dois tipos de argamassa, com pode ser observado na Figura 22.

Figura 22. Teor de finos x Coeficiente de Capilaridade



A Tabela 21 apresenta resumidamente todas as características das argamassas ensaiadas.

Tabela 17. Resumo das classificações das argamassas conforme NBR 13281:2005

Arg.	Resist à compressão (MPa) (P)	Densid massa aparente endurecido (M) (kg/m ³)	Resist à tração na flexão (MPa) (R)	Coef de capilaridade (g/dm ² . min ^{1/2}) (C)	Densid. de massa fresco (M)	Ret.de água (%) (U)
H0	P3 2,5 a 4,5	M4 1400 a 1800	R1 ≤ 1,5	C1 ≤ 1,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
H30	P3 2,5 a 4,5	M3 1200 a 1600	R1 ≤ 1,5	C1 ≤ 1,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
H60	P3 2,5 a 4,5	M3 1200 a 1600	R2 1,0 a 2,0	C2 1,0 a 2,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
H100	P3 2,5 a 4,5	M3 1200 a 1600	R2 1,0 a 2,0	C2 1,0 a 2,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
M0	PI ≤ 2,0	M4 1400 a 1800	R1 ≤ 1,5	C1 ≤ 1,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
M30	PI ≤ 2,0	M3 1200 a 1600	R1 ≤ 1,5	C1 ≤ 1,5	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
M60	PI ≤ 2,0	M3 1200 a 1600	R1 ≤ 1,5	C2 2,0 a 4,0	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94
M100	PI ≤ 2,0	M3 1200 a 1600	R1 ≤ 1,5	C2 2,0 a 4,0	D4 1600 a 2000	U4 86 e 94

4.3 Características na condição de aplicabilidade

Por sua vez, na condição de revestimento aplicado, foram avaliados:

- ✓ Índice de fissuras visíveis
- ✓ Absorção de água pelo método do cachimbo,
- ✓ Resistência potencial de aderência.

4.3.1. Índice de Fissuras

Aos 7 e 28 dias de idade foram medidos o comprimento das fissuras nas paredes de cada tipo de argamassa, o comprimento total de fissuras foi dividido pela área da parede gerando o Índice de Fissuração que é apresentado na Tabela 17. Observa-se que entre 7 e 28 dias ocorreu um aumento da fissuração para todas as argamassas. Esses valores são muito elevados para as argamassas mistas e apenas as argamassas hidráulicas sem substituição e com 100% de substituição apresentaram índices baixos. Como os valores estavam muito altos e discrepantes aos observados por outros autores, o ensaio foi refeito e os resultados de medição aos 7 dias apresentando na Tabela 18.

A NBR 13281:2005 não especifica limites para esse parâmetro, no entanto, Silva et al. (2005 apud Da SILVA, 2006), constataram que a presença maior de finos (material passante na peneira de malha 0,075 mm) aumenta consideravelmente a incidência de fissuras visíveis no revestimento.

Tabela 18. Índice de Fissuras (cm/m²)

% Subs	H 7d	H 28d	M 7d	M 28d
0	191	217	473	612
30	1038	1221	647	760
60	948	1097	1799	1817
100	212		1991	2004

Tabela 19. Índice de Fissuras aos 7 dias – segundo ensaio (cm/m²)

% Subs	H 7d	M 7d
0	0	0
30	26	804
60	21	873

100	909	894
-----	-----	-----

Rudnitski et al. (2013), observaram que as fissurações nos revestimentos com resíduos tanto cinza como vermelho foram elevadas, após 1 horas e até 2 dias após a aplicação, aumentando com o passar do tempo, até estabilizar-se. No que se diz respeito ao aparecimento das fissurações, possivelmente estas ocorreram pelo alto teor de finos dos agregados.

4.3.2. Absorção de água pelo método do cachimbo

A determinação da permeabilidade pelo método do cachimbo foi desenvolvida conforme Dias e Carasek (2003) que se baseou na metodologia definida pelo CSTC/82. O ensaio foi desenvolvido aos 60 dias de idade. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 19 e indicam o volume de água (ml) absorvido pela argamassa aos 5, 10 e 15 minutos de ensaio. Pode-se observar que para argamassa hidráulica conforme se aumentou a porcentagem de substituição, mais permeável a argamassa se tornou, absorvendo maior quantidade de água em menor período de tempo. Para a argamassa Hidráulica com até 60% de substituição o volume de água absorvido em até 15 min. Foi baixo, no entanto para a argamassa hidráulica com 100% o valor máximo de 4ml foi atingido antes dos 5 minutos.

Apenas a argamassa mista sem substituição apresentou leituras de absorção nos tempos de 5, 10 e 15 min., as demais argamassas mistas a absorção máxima de 4ml foi atingida antes de 5 min.

Tabela 20. Resultados de permeabilidade pelo método do cachimbo

Traço	5min	10min	15min
	ml	ml	ml
H 0	0,1	0,1	01
H 30	0,1	0,4	0,5
H 60	0,4	0,5	0,7
H 100	-	-	-
Traço	5min	10min	15min
M 0	1,2	2,2	3,1
M 30	-	-	-
M 60	-	-	-
M 100	-	-	-

O ensaio realizado por Rudnitski et al. (2013), referente a absorção de água capilar executado pelo método do cachimbo, para a argamassa mista, foi 1,5 (ml em 15min).

4.3.3. Resistencia de aderência à tração

Para a determinação da resistência potencial de aderência, conforme a NBR 15259:2005, foram revestidas paredes de bloco de concreto. O equipamento utilizado foi o aparelho para arrancamento digital com microprocessador de faixa de trabalho de 0 a 15000N e velocidade constante regulável, marca CONTENCO. Durante o processo de ensaio foram coladas 5 pastilhas para ensaio nas paredes. Os resultados de aderência mostraram-se insatisfatórios, pois apenas para as argamassas hidráulicas sem substituição e com 30% de substituição obteve-se valor de resistência de aderência para alguns corpos de prova acima de 0,2MPa, valor mínimo especificado pela NBR 13281:2005, para as demais argamassas ocorreu o descolamento da argamassa de revestimento, muitas vezes apenas com o processo de corte usando a serra copo inviabilizando a continuidade do ensaio.

A Tabela 20 apresenta a avaliação do ensaio de aderência na parede para a argamassa hidráulica. Foi avaliado além da resistência o local onde a ruptura ocorreu, indicado conforme a nomenclatura abaixo.

- ✓ S - ruptura no substrato
- ✓ S/A - interface - substrato/argamassa
- ✓ A - ruptura na argamassa
- ✓ F - falha na colagem da peça metálica

Como se observa a resistência de aderência foi inferior ao mínimo especificado pela NBR 13749:2013, pois não atingiu 0,2 MPa. Nos ensaios validados a ruptura ocorreu na argamassa, o que é satisfatório. Para argamassa com 30% de substituição, a tensão de aderência também foi inferior a 0,2 MPa, sendo então estas argamassas classificadas pela NBR 13281:2005 como classe A1.

Tabela 21. Ensaio de aderência para a argamassa hidráulica referência-parede

CORPO DE PROVA	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)			
H Ref					
	MPa	S	S/A	A	F
1	0,34		X		
2	0			X	
3	0,01			X	
4	0,2		X		
5	0			X	
H30					
1	0,02			X	
2	0,03			X	
3	0	X			
4	0	X			
5	-	-	-	-	-
H60					
1	0	X			
2	0,05			X	
3	0				X
4	0,21		X		
5	0,18				X

5. CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos para esta pesquisa pode-se fazer algumas considerações interessantes quanto ao comportamento das argamassas em estudo, são elas:

- O aumento do teor de finos resultou em argamassas mais trabalháveis, tanto para argamassa hidráulica como para a argamassa mista.
- Para a argamassa hidráulica houve melhora da capacidade de retenção de água, o que é benéfico, pois contribui para a hidratação do cimento, resultando em maior resistência do revestimento.
- Observou-se uma redução da densidade de massa aparente da argamassa, tanto no estado plástico como o estado endurecido, à medida que se aumenta a porcentagem de substituição, o que se justifica pela menor massa específica do agregado reciclado ($2,33 \text{ g/cm}^3$) em relação ao agregado natural ($2,66 \text{ g/cm}^3$). Este comportamento foi idêntico para os dois tipos de argamassa.
- Analisando a resistência à compressão, no estado endurecido, em ambos os traços, hidráulico e misto, os resultados indicam a possibilidade de se preparar argamassas hidráulicas e mistas com as diversas porcentagens de substituições, pois atendem as classificações da NBR 13281:2005.
- Analisando o coeficiente de capilaridade das argamassas, observou-se para os dois tipos de argamassa, o teor de 30% de substituição do agregado natural pelo reciclado, não trouxe prejuízo significativo.
- Para o ensaio de resistência à aderência em argamassas mistas, não se comprovou o seu desempenho, nenhum dos traços apresentou resultado superior ao mínimo especificado por norma que é de 0,2 MPa. Para a argamassa hidráulica em ensaios realizados, apenas as argamassas de referência e com 30% de substituição apresentaram resistência à aderência superior a 0,2 MPa.
- Quanto aos ensaios de absorção de água pelo método do cachimbo, os resultados mostraram que a tendência foi a mesma, observando que

quanto maior a substituição da areia natural pelo reciclado, foi maior a absorção sofrida pelo revestimento usado.

- Quanto aos ensaios de medição das fissuras visíveis, os resultados mostraram que para a argamassa mista ocorreu um aumento significativo das fissuras em função o aumento do teor de finos, o que não foi evidenciado para argamassa hidráulica com 100% de substituição.
- Em síntese, tendo em vista que o comportamento das argamassas no estado plástico, endurecido e na condição de aplicabilidade não foram integralmente atendidos, conclui-se pela necessidade de ampliar os estudos, de forma a se obter melhores resultados em termos de aplicabilidade destas argamassas como revestimentos o que não impede a sua aplicação como argamassa de assentamento de alvenarias.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar quais as modificações necessárias na composição dos traços das argamassas com adição de agregado reciclado para a adequação à luz das normas, para revestimentos de paredes e tetos.
- Avaliar a possibilidade de alterar a composição de traços para melhor performance das argamassas com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado.
- Avaliar a possibilidade de adicionar aditivos na composição dos traços das argamassas com agregado reciclado e obter resultados de aplicabilidade.
- Avaliar a aplicabilidade da argamassa com adição de agregado reciclado nas pequenas construções tendo em vista a questão custo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Requisitos para construção de aterros de resíduos de construção e demolição**. EPUSP, USP, S-ao Paulo, 2006 BT/PCC/436.

ANGULO S. C; ZORDAN, S. E; JOHN, V. M., **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável ea Reciclagem na construção civil-materiais reciclados e suas aplicações, CT206-IBRACON. São Paulo–SP, 2001

ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Agregados Reciclados**. In: ISAIA, Geraldo C. Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2, p. 1731-1767.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 248**: Agregados- determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7211**. Agregado para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 10004**: Resíduos sólidos- classificação, Rio de Janeiro,2004a.71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro, 2004b, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação Rio de Janeiro; 2013; 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**. Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 15um, por lavagem, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52**: agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 30**: Agregado miúdo - capacidade de absorção de água, Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da Retenção de água, Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração; Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade; Rio de Janeiro, 2005

BAIA, LUCIANA LEONE MACIEL; SABBATINI, FERNANDO HENRIQUE, **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**, São Paulo: O Nome da Rosa, 2002. (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras – ISBN 85-86872-06-7) quarta edição – setembro 2008, ISBN 85-86872-14-8.

BATLOUNI, JORGE, **Tecnologia para a Redução dos Desperdícios**, Revista Notícias da Construção, nº 151, ano 13, jan/fev 2016, pag. 16, SindusCon-SP, 2016

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução nº 307** de 05 de julho de 2002. Brasília-DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> Acesso em: 3 de março de 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm Acesso em: 3 de março de 2014.

CARELI, ÉLCIO DUDUCHI, **2002-2012 – 10 anos da Resolução CONAMA no 307/2002: Um cenário evolutivo, 2012** Disponível em: <http://www.obralimpa.com.br/index.php/reciclagem-de-residuos-e-alternativa-sustentavel-para-destinacao-de-entulhos/>, Acesso em 21/01/2015.

CARVALHO, BRUNO FRANKLIN MOREIRA, **Capacitação de Mão de Obra para a Construção Civil**, Universidade Federal do Ceará, Centro de

Tecnologia do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Fortaleza, 2011.

CARASEK, H. **Argamassas In Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciencia e Engenharia de Materiais** Capítulo 26. IBRACON, 2013

CASSA, J. C.; CARNEIRO, A. P. BRUM, I. A. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.312p.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio** (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Construção e Demolição do Município de São Carlos – SP**, 406 p..Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2010.

CORREA, S. M. B. B. Probabilidade e estatística 2ª ed. - Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003 116p.

COUTINHO, S. M.; PRETTI, S. M.; TRISTÃO, F. A. **Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para** Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.21, p.41-48, Maio, 2013

DA SILVA, N. G. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA** Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2006, 180 p.

DE MILITO J, **TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL Notas de aula** (2014) Disponível em: <http://demilito.com.br/apostila.html> Acesso em: janeiro/2015

DIAS, L. A.; CARASEK, H. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimento de argamassa pelo método do cachimbo**. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas, São Paulo, 2003, p 519-531.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre – RS**. Dissertação apresentada ao Programa de mestrado em Engenharia Civil da Univ. Federal do Rio Grande do Sul, 2000 115 p.

FONTES, W. C. **Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento**. Dissertação Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2013. 112p

SILVA, D.; SALRETA, A, **Arquitetura Ecológica Materiais Não-Convencionais: A Reutilização dos Materiais na Arquitetura**, Dissertação

Mestrado em Arquitectura de Interiores, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

FERNANDEZ, J. A. B., **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil, Relatório de Pesquisa**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada –IPEA - Governo Federal, 2012.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. 2008. 342f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FREITAS, W. C.; **Análise Da Geração de Resíduos da Construção Civil no Município de Batatais/SP para Implantação de Gerenciamento Integrado**. Dissertação de Mestrado. Depto de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto/SP. 2009.

GOMES, ADAILTON DE OLIVEIRA, **Argamassas para Revestimentos de Edificações**, II Seminário de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, 2002

GUIMARÃES, J. E. P.; GOMES, R. D.; SEABRA, M. A., **Guia das Argamassas nas Construções**, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2002.

GUIDUGLI, R., **Modelo de Gestão de Contratos para Obras Públicas Habitacionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**, ed. Pini, São Paulo, 1992 pag 349 p.

IBGE 2008 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –**Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**, Diretoria de Pesquisas Coordenação de População e Indicadores Sociais - Rio de Janeiro 2010. Disponível em:http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf Acessado em 23/03/2015

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção. Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares**. SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2001. Web site <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>, acessado em 15 outubro de 2001. 13 p.

KOZ, J., **Construção Civil Consome Até 75% da Matéria Prima do Planeta**, em entrevista à Rede Globo de TV, professor da UFSC em 2013, disponível no site: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticias/2013/07> acesso em 25/01/2015

LEITE, M. B.- **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e**

Demolição-UFRGS- 2001- p.270- (Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia Civil – Tese de Doutorado.)

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil: para utilização como agregados para argamassas e concretos**, 1997.145f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LEDESMA, E. F.; JIMENEZ, J. R.; AYUSO, J.; FERNANDEZ, J. M.; DE BRITO, J. **Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production e Part-I: ceramic masonry waste**. Journal of Cleaner Production 87 (2015) 692e706.

LEDESMA, E. F.; JIMENEZ, J. R.; FERNANDEZ, J. M.; Galvín, A. P.; AGRELA, F.; BARBUDO, A. **Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates**. Construction and Building Materials 71 (2014) 289–298.

MACHIONE, E. De C.; **Caracterização dos Resíduos de Construção Civil e demolição Gerados no Município de Colina/Sp e uma proposta de Gerenciamento e Disposição Adequada**, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto/SP. 2010.

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP**, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2010.

MARTÍNEZ P. SAIZ, GONZALEZ CORTINA M., MARTÍNEZ F. FERNANDEZ, RODRÍGUEZ, A. SANCHEZ, **Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication**. Journal of Cleaner Production 118 (2016) 162e169.

MINISTÉRIO DAS CIDADES PBPQP-H **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat** Disponível em: <http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/pbqp>, Acessado em 23 de março de 2015

MIRANDA, L. F. R. **Estudos de fatores que influenciam na fissuração de argamassas de revestimento com entulho reciclado**. Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 190 p.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. DE S., **DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM ENTULHO RECICLADO**, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil, **ISSN 0103-9830** bt/pcc/277, 2001.

MORAES, M., **Argamassas de Revestimentos e Assentamentos**, Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/argamassas-de-revestimento-material-auxiliar>, 2014, Acesso em 04/02/2015.

MUNICIPIO DE CAMPINAS, 2013 SECRETARIA DO VERDE E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, **Manual de Obras Públicas Sustentáveis**, CAMPINAS, 2013.

MUNICIPIO DE CAMPINAS, 2008. **Lei 13508 de 22/12/08**. Autoriza o município de Campinas a celebrar com o Governo do Estado de São Paulo convênio para a municipalização do Licenciamento e Fiscalização Ambiental de Atividades e Empreendimentos de Impacto Ambiental Local. Disponível em: <https://www.leismunicipais.com.br/> Acessado em: 22/03/2015

MUNICIPIO DE CAMPINAS, 2001 **Lei 10.841 de 24/05/01** - Dispõe sobre a Criação do Sistema de Administração da Qualidade Ambiental e de Proteção dos Recursos Naturais e Animais do Conselho Municipal de Meio Ambiente no município de Campinas. Disponível em: <https://www.leismunicipais.com.br/> Acessado em: 22/03/2015.

PINTO, T. DE P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.1999

PINTO, T. DE P. **Manual Para Implantação De Sistema De Gestão De Resíduos De Construção Civil Em Consórcios Públicos**, Ministério Do Meio Ambiente – MMA Secretaria De Recursos Hídricos E Ambiente Urbano Melhoria Da Gestão Ambiental Urbana No Brasil – Bra/Oea/08/001, 2010

RUDNITSKI, J. C., BAVASTRI, E. Y. N.; MOHAMAD, G. **Avaliação do Desempenho de Argamassas de Revestimento com Adição de Resíduos de Construção e Demolição – RCD**. In ANAIS DO 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013 – 55CBC

SAMIEI, R. R.; DANIOTTI, B.; PELOSATO, R.; DOTELLI, G. **Properties of cement–lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates**. Construction and Building Materials 84 (2015) 84–94.

SANTANA, M.. J.. A.; CARNEIRO, A. P.; SAMPAIO, T. S.; **Uso do Agregado Reciclado em Argamassas de Revestimento**, Projeto Entulho Bom - Universidade Federal da Bahia – UFBA, acesso sit: www.pickupau.org.br/mundo/reciclagem_entulho/.../capitulo_08.pdf, em 7-6-2015

SANTOS, L. A., **Diretrizes para Elaboração de Planos da Qualidade em Empreendimentos da Construção Civil**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de *Engenharia* de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SANTOS, H. N. Dos; CÂNDIDA, A. C.; FERREIRA, T. K. S.; **Ações Referentes a Gestão de Resíduos da Construção Civil em Araguari-MG**. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, ENG, Porto Alegre, 2010.

SÃO PAULO 1996 **DECRETO Nº. 41.337**, DE 25 DE NOVEMBRO DE 1996. Institui o Programa da Qualidade da Construção Habitacional do Estado de São Paulo – QUALIHAB, 1996.

SÃO PAULO. Lei no 12.300, de 16 de março de 2006. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes.** Diário Oficial do Estado, São Paulo, 17 mar. 2006.

SCATAMBURLO, L. F. De A.; **A Gestão dos Resíduos Classe A na Produção de Argamassa para Revestimento**, Escola Politécnica da Universidade São Paulo, 2014

SCREMIN, L. B., **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição para Municípios de Pequeno Porte**, tese de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, R. V; DE BRITO, J; DHIR, R.K; - **Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes**, - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa; School of Civil Engineering, University of Birmingham; tradução: journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat, 2016

TORRES, L.; CARELI, É.; PINTO, T. DE P., **Reciclagem de Resíduos é Alternativa Sustentável para Destinação de Entulhos**, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), 2012 disponível em <http://www.obralimpa.com.br/index.php/reciclagem-de-residuos-e-alternativa-sustentavel-para-destinacao-de-entulhos/>, acesso em 21/01/2015.

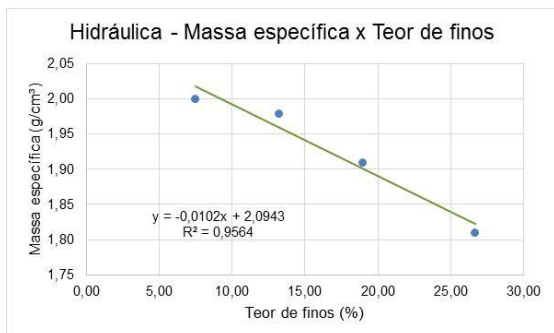
VOTORANTIM **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** - Disponível em: <http://www.votorantimcimentos.com.br/extras/pdf/cal.pdf>, Acesso em abril de 2015

WEINSTOCK, G.; WEINSTOCK, D. M. CIB – **Agenda 21 para construção sustentável** – Tradução do relatório CIB – Publicação 237, PCC-USP, 2000 131p.

ANEXO I

Gráficos de correlação entre teor de finos e variáveis no estado plástico.

Argamassa Hidráulica



Argamassa Mista

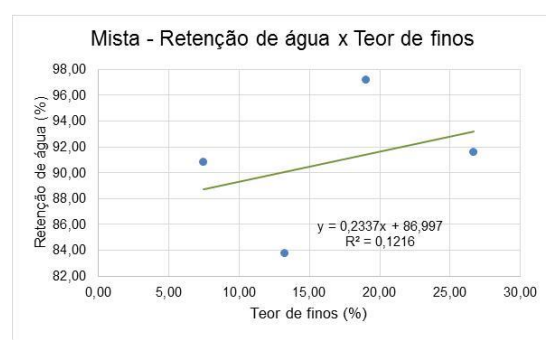
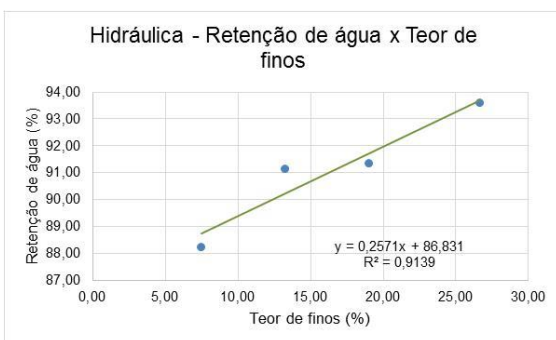
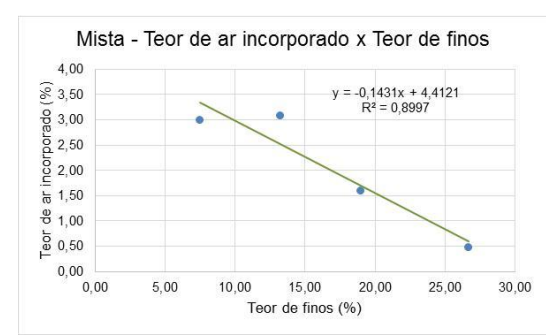
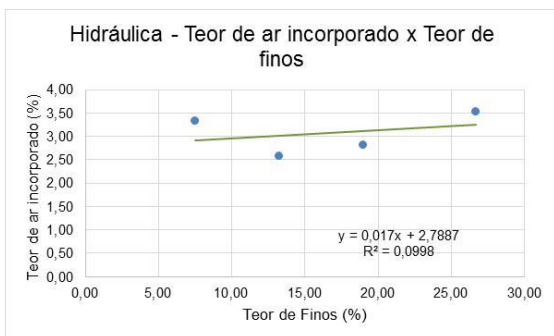
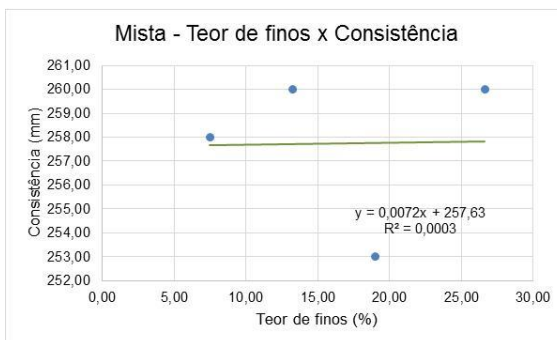
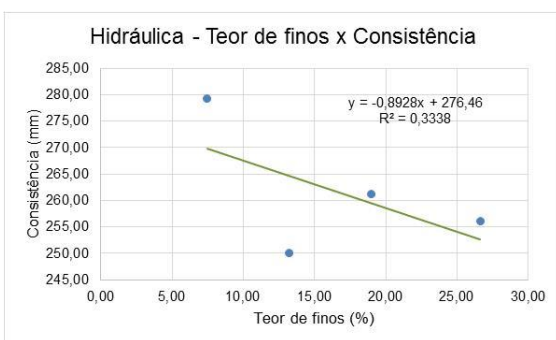
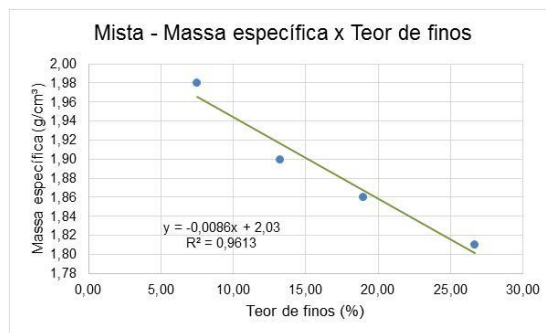
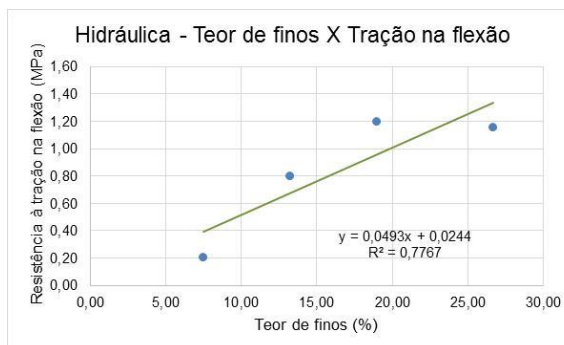


Tabela de coeficientes de correlação

	Arg. Hidraulica	Arg. Mista
Massa Especifica	0,9564	0,9613
consistencia	0,3338	0,0003
Teor de Ar	0,0998	0,8997
Retenção de agua	0,9139	0,1216

Gráficos de correlação entre teor de finos e variáveis no estado endurecido.

Argamassa Hidráulica



Argamassa Mista

