

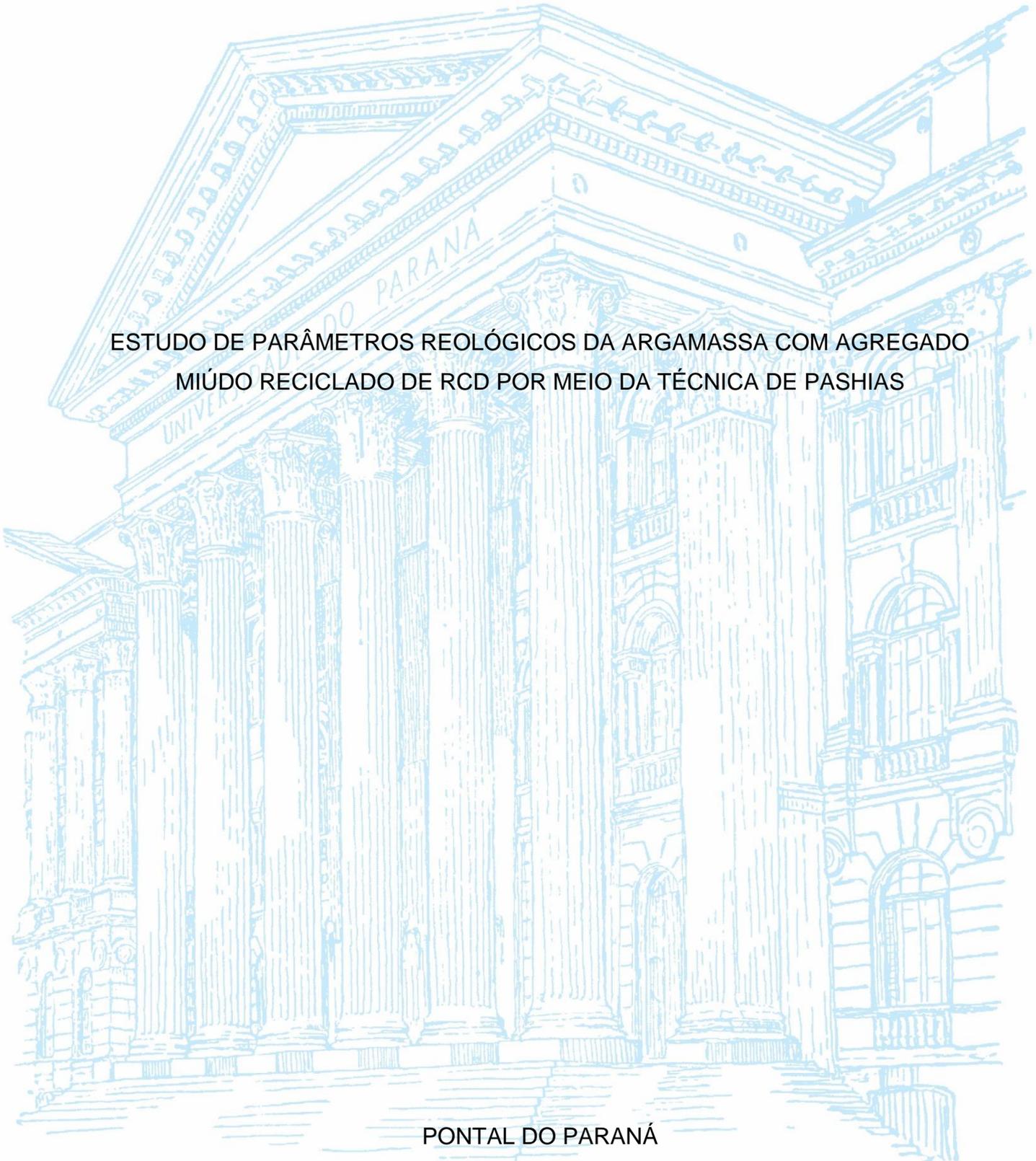
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DILSON MACHADO CUNHA

ESTUDO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DA ARGAMASSA COM AGREGADO
MIÚDO RECICLADO DE RCD POR MEIO DA TÉCNICA DE PASHIAS

PONTAL DO PARANÁ

2022



DILSON MACHADO CUNHA

ESTUDO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DA ARGAMASSA COM AGREGADO
MIÚDO RECICLADO DE RCD POR MEIO DA TÉCNICA DE PASHIAS

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil, Campus Avançado de Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Roberta Brondani Minussi

PONTAL DO PARANÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Dilson Machado Cunha

“ESTUDO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DA ARGAMASSA COM AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RCD POR MEIO DA TÉCNICA DE PASHIAS”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profa. Dra. Roberta Brondani Minussi

Profa. Orientadora - CPP-CEM/UFPR

Prof. Dr. Carlos Eduardo Rossigali

CPP-CEM - UFPR

Prof. Dr. Henrique Machado Kroetz

CPP-CEM - UFPR

Pontal do Paraná, 13 de maio de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTA BRONDANI MINUSSI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2022, às 16:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS EDUARDO ROSSIGALI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2022, às 17:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **HENRIQUE MACHADO KROETZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/05/2022, às 15:31, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4477160** e o código CRC **8D64D1F9**.



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por todo apoio e incentivo que tive durante todos esses anos de graduação. Em especial quero agradecer a minha mãe, Sirlei, por ter acreditado em mim desde o início e por todo o amor e carinho que recebi.

Aos meus amigos e amigas que fiz durante toda essa jornada. Saibam que vou lembrar de cada abraço dado, de cada palavra amiga dita, de cada riso multiplicado e cada dor dividida.

A minha orientadora Roberta Brondani Minussi pela paciência, compreensão e conhecimento passado a mim.

A todas as outras pessoas que me ajudaram diretamente ou indiretamente a realizar essa pesquisa.

A Deus.

Por último agradeço a mim que, mesmo enfrentando tempos difíceis, se recusou a desistir.

*You must always have faith in people. And most importantly, you must
always have faith in yourself.*

– Elle Woods, 2001.

RESUMO

Com o aumento do desenvolvimento urbano, houve também uma alta no consumo de recursos naturais para materiais de construção civil. Essa movimentação do mercado criou também uma grande geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Pensando nos impactos que podem ser causados ao meio ambiente a longo prazo, a reciclagem do RCD para utilização como matéria prima para concretos e argamassas surge como uma alternativa a ser estudada. O objetivo deste trabalho é analisar os impactos da variação da quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD em alguns parâmetros reológicos da argamassa. Sendo assim, três traços de argamassa anidra foram analisados. A relação água/cimento de cada traço foi determinada por meio do ensaio de índice de consistência, o qual foi fixado em (260 ± 5) mm para que os três traços fossem padronizados e o consumo de água fosse verificado. A densidade de massa e teor de ar incorporado de cada um dos traços foram determinados pois são parâmetros importantes para a determinação reológica da argamassa. A tensão crítica foi determinada por meio do método de Pashias em três tempos diferentes e a viscosidade aparente foi determinada de forma qualitativa, por meio de observações nos mesmos tempos utilizados no método de Pashias. Após a análise dos dados obtidos com os ensaios, pôde-se concluir que o aumento na quantidade de agregado miúdo de RCD na mistura provoca um aumento na relação água/cimento, que a densidade da argamassa decresce e que o teor de ar incorporado cresce. Isso ocorre por o agregado miúdo reciclado de RCD ser um material altamente poroso o que incorre no aumento de sua absorção de água e diminuição de sua densidade, além do grande teor de material passante pela peneira #0,0075mm. Além disso, ficou constatado que à medida que o abatimento e o teor de ar incorporado crescem, a tensão crítica decresce, um comportamento contrário ao previsto na literatura. Por fim, observou-se que para tempos superiores a 15 minutos, os traços de argamassa analisados perdem quase totalmente a trabalhabilidade, possuindo uma viscosidade aparente tendendo ao infinito e, portanto, com comportamento parecido com o de materiais sólidos.

Palavras-chave: Reologia. Argamassa. Resíduo de construção e demolição. Tensão crítica. Viscosidade.

ABSTRACT

With the increase in urban development, there was also an increase in the consumption of natural resources for construction materials. This market movement also created a large generation of construction and demolition waste (RCD). Thinking about the impacts that can be caused to the environment in the long term, the recycling of RCD for use as raw material for concrete and mortar appears as an alternative to be studied. The objective of this work is to analyze the impacts of the variation in the amount of fine aggregate recycled from RCD on some rheological parameters of the mortar. Therefore, three traces of anhydrous mortar were analyzed. The water/cement ratio of each mix was determined using the consistency index test, which was set at (260 ± 5) mm so that the three mixes were standardized and water consumption was verified. The mass density and air content of each one of the mixtures were determined as they are important parameters for the rheological determination of the mortar. The critical stress was determined using the Pashias method at three different times and the apparent viscosity was qualitatively determined, through observations at the same times used in the Pashias method. After analyzing the data obtained from the tests, it was possible to conclude that the increase in the amount of fine aggregate of RCD in the mixture causes an increase in the water/cement ratio, that the density of the mortar decreases and that the content of incorporated air increases. This is because the recycled fine aggregate of RCD is a highly porous material, which increases its water absorption and decreases its density, in addition to the large content of material passing through the #0.0075mm sieve. In addition, it was found that as the slump and the amount of air incorporated increase, the critical stress decreases, a behavior contrary to that predicted in the literature. Finally, it was observed that for times longer than 15 minutes, the analyzed mortar traces almost totally lose workability, having an apparent viscosity tending to infinity and, therefore, with behavior similar to that of solid materials.

Keywords: Rheology. Mortar. Construction and demolition waste. Critical tension. Viscosity.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS | 12 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 12 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO | 13 |
| 2.1.1 Classificação | 13 |
| 2.1.2 Geração e deposição | 14 |
| 2.1.3 Reciclagem e utilização como agregado | 15 |
| 2.2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO | 15 |
| 2.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco | 16 |
| 2.2.1.1 Trabalhabilidade, consistência e plasticidade..... | 16 |
| 2.2.1.2 Retenção de água | 16 |
| 2.2.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado..... | 17 |
| 2.2.1.4 Retração | 17 |
| 2.2.1.5 Adesão inicial | 18 |
| 2.2.2 Argamassas com agregado miúdo reciclado..... | 18 |
| 2.3 INTRODUÇÃO À REOLOGIA | 19 |
| 2.3.1 Definições preliminares | 19 |
| 2.3.1.1 Viscosidade | 19 |
| 2.3.1.2 Tensão crítica | 20 |
| 2.3.1.3 Fluidos newtonianos..... | 21 |
| 2.3.1.4 Fluidos não newtonianos..... | 21 |
| 2.3.2 Reologia das argamassas | 22 |
| 2.3.2.1 Métodos de avaliação da reologia em argamassas..... | 22 |
| 2.3.2.1.1 Técnica de Pashias | 23 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1 MATERIAIS | 27 |
| 3.2 MÉTODOS | 28 |
| 3.2.1 Massa específica do agregado miúdo..... | 28 |
| 3.2.2 Mistura das argamassas | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.3 Índice de consistência | 32 |
| 3.2.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado..... | 33 |
| 3.2.5 Tensão crítica – técnica de Pashias..... | 35 |
| 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 38 |
| 4.1 MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO..... | 38 |
| 4.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA | 38 |
| 4.3 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO..... | 40 |
| 4.4 TENSÃO CRÍTICA – TÉCNICA DE PASHIAS | 42 |
| 4.4.1 Abatimento | 43 |
| 4.4.2 Tensão crítica..... | 45 |
| 4.4.3 Viscosidade aparente | 46 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 48 |
| 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 49 |
| REFERÊNCIAS..... | 50 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das que mais modifica o meio ambiente. Com o rápido desenvolvimento urbano e o respectivo crescimento dessa indústria, houve um aumento também no consumo de recursos naturais, na geração de resíduos sólidos e na emissão de gases poluentes (FERREIRA, 2017).

Pensando na diminuição do impacto ambiental da geração de resíduos sólidos gerados pela indústria da construção civil, Canedo *et al.* (2011) sugerem a utilização de resíduos na composição das argamassas.

Nesse sentido, este trabalho pretende estudar os efeitos nas propriedades reológicas de argamassas com substituição total do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD).

1.1 JUSTIFICATIVA

Os agregados miúdos têm um papel importante para a construção civil pois são materiais necessários para a produção da argamassa, sendo esta utilizada no assentamento de tijolos e revestimento de paredes durante o processo de construção de novas residências além de sua importância para a fabricação de concretos. Entretanto, a indústria explora jazidas de areia natural até a exaustão, o que causa muitos problemas ambientais e o aumento de seu custo de produção.

Para minimizar esses problemas, alguns autores sugerem a utilização de materiais alternativos, como os resíduos de construção e demolição.

A utilização dos resíduos de RCD surge como alternativa para diminuir o desperdício que acontece em construções e na diminuição da exploração de recursos naturais não renováveis. O RCD é todo tipo de resíduo gerado no processo construtivo. Mas para a reutilização do RCD como agregado graúdo ou miúdo em concretos e argamassas, esses resíduos devem passar por alguns processos, como o de classificação e o de beneficiamento, entre outros.

A partir do beneficiamento do RCD pode-se obter a areia reciclada, que pode ser empregada em argamassas a fim de dar um destino para esses resíduos e, assim, mitigar os impactos ambientais por eles causados. No entanto, além do apelo ambiental, esses materiais podem agir na mudança de propriedades mecânicas e reológicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo explorar a relação existente entre os parâmetros de reologia de argamassas e a quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD utilizado na mistura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realização de ensaios reológicos e de consistência da argamassa com os diferentes traços de argamassa definidos pelo autor;
- Definição da quantidade de água necessária para a argamassa ideal de acordo com a ABNT NBR 16541 (2016); e
- Comparação entre os resultados obtidos das argamassas com diferentes traços.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será abordada a situação atual de questões referentes aos resíduos de construção e demolição (RCD). Serão abordados temas como geração, classificação, deposição, reciclagem e sua utilização como agregado.

Em um segundo momento, serão explicadas as propriedades da argamassa de revestimento no estado fresco, de forma a entender quais fatores podem influenciá-las. Além de uma breve apresentação do comportamento das argamassas com agregados miúdos reciclados.

Por fim, serão apresentados conceitos introdutórios para a reologia, onde definições preliminares serão feitas, seguidas de explicações acerca do comportamento de fluidos newtonianos e não newtonianos, e finalizando com a reologia das argamassas.

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

De acordo com a NBR 15112 (2004), os resíduos de construção e demolição são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resíduos que sobraram após os processos de preparação e da escavação de terrenos.

2.1.1 Classificação

A Resolução 307 (2002) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica os resíduos da construção civil em quatro classes.

De acordo com a resolução acima, as classes de resíduos são as seguintes:

Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como resíduos de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassa, concreto e peças pré-moldadas em concreto.

Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

2.1.2 Geração e deposição

De acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil de 2018/2019 realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2018 foram coletadas 122.012 toneladas de RCD por dia. Somente a região sul contribuiu com 13,31% desta quantia, sendo a região sudeste a maior geradora deste tipo de resíduo, contribuindo com aproximadamente 52,19% do montante. Destaca-se que os dados apresentados são de apenas do que foi abandonado em vias e logradouros, pois o responsável por recolher os resíduos é o gestor de cada obra. Logo estes números podem ser ainda maiores (ABRELPE, 2018).

Santos (2007) aponta “fortes traços artesanais” como uma peculiaridade presente na indústria da construção civil, capaz de contribuir para a elevada geração de resíduos. De acordo com o autor, os RCD são gerados durante a etapa de construção, manutenção e demolição.

Há uma preocupação recorrente em relação à destinação dos RCD, uma vez que os aterros de inertes – os “bota-foras” – têm esgotamento extremamente rápido. Tanto pelo elevado volume de RCD produzido quanto pelo pequeno porte de suas áreas, situadas próximas das regiões geradoras dos resíduos, normalmente as cidades de grande e médio porte. Logo, para solucionar esse problema, seria necessário reduzir o volume de resíduos acumulados com o tempo, por meio da reciclagem (HAWLITSCHKEK, 2014).

2.1.3 Reciclagem e utilização como agregado

A reciclagem do RCD pode ser resumida em uma ou mais etapas de classificação, seguida da britagem por equipamento e, por fim, o peneiramento. No Brasil utiliza-se a separação manual e magnética, entretanto existem outras tecnologias que utilizam a diferença de densidade entre as diferentes fases para realização da etapa de classificação de maneira mais eficiente. No entanto, utilizar esse tipo de tecnologia ou o acréscimo de etapas no processo significa um acréscimo no custo final de produção (JHON e AGOPYAN, 2000).

Apesar do processo de produção de agregados, em sua forma mais simples, ser consistente no Brasil, o mesmo não pode ser dito de seu emprego. Mesmo havendo décadas de experiências na utilização de agregados mistos na produção de pavimentação, não há documentação técnica abrangente e consistente disponível. O mesmo ocorre com a produção de argamassa a partir de agregados em canteiros de obras, que tem sido objeto de estudos acadêmicos (JHON e AGOPYAN, 2000).

Um aspecto que dificulta a utilização de agregados reciclados é a sua variabilidade, pois sua composição muda de região a região, e da própria unidade recicladora (JHON e AGOPYAN, 2000; JOCHEM, 2012). Devido às parcelas de concreto, argamassa, material cerâmico e rocha de sua composição, os agregados reciclados, quando comparados com os agregados naturais, apresentam maior porosidade e essa característica dificulta sua utilização. Vale salientar que a separação manual do agregado reciclado não é um processo eficiente para controlar tais comportamentos (JOCHEM, 2012).

2.2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

De acordo com a NBR 13529 (2013), a argamassa é uma “mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Sendo a incorporação de aditivos e/ou adições com a finalidade de conferir determinadas propriedades às argamassas dependendo das características de cada material (ABCP, 2003).

Esse material de construção é muito empregado na construção civil nas etapas de assentamento de alvenarias, revestimento de paredes, tetos e contrapisos,

além de assentamento e rejuntamento de revestimentos cerâmicos e de pedra (CARASEK, 2007). Além de serem importantes para a fabricação de concretos.

2.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

2.2.1.1 Trabalhabilidade, consistência e plasticidade

A trabalhabilidade é uma propriedade importante e complexa que determina a facilidade com que uma argamassa pode ser misturada, transportada, lançada, adensada, e acabada, mantendo a homogeneidade (JOICHEM, 2012; CARASEK, 2007).

A trabalhabilidade, como sugerido pelo nome, define o comportamento dito “trabalhável” na prática. Uma argamassa “trabalhável” permite que o aplicador execute seu serviço com boa produtividade, garantindo boa aderência à base e apresentando bom acabamento superficial (CARASEK, 2007).

As principais propriedades para determinar a trabalhabilidade são a plasticidade e a consistência, sendo utilizadas como parâmetro para ajustar a quantidade de água necessária para a mistura da argamassa (SOUSA E LARA, 2005; JOICHEM, 2012).

Carasek (2007) define consistência como sendo “a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob ação de cargas” e plasticidade como “a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação”.

Sousa e Lara (2005) afirmam que a consistência e a plasticidade são propriedades interligadas e que, quando se analisa a trabalhabilidade de uma argamassa, não podem ser tratadas separadamente. Jochem (2012) concorda que, além de interligados, os fatores que influenciam essas duas propriedades são os mesmos.

2.2.1.2 Retenção de água

A retenção de água pode ser descrita como uma propriedade da argamassa no estado fresco, que a permite manter sua trabalhabilidade quando sob efeito de solicitações que possam provocar a perda de sua água de amassamento. Tais solicitações podem ser provocadas pela absorção de substratos com alto poder de

sucção de água ou pela evaporação frente a condições climáticas desfavoráveis, podendo ainda ser influenciada por fatores como as características e a dosagem dos materiais constituintes da argamassa. A retenção de água pode modificar outras propriedades, pois pode interferir no processo de endurecimento da argamassa, o qual depende de uma quantidade adequada de água retida por tempo suficiente para o aglomerante se hidratar de forma gradativa e, conseqüentemente, dar resistência à argamassa (CARASEK, 2007; MACIEL *et al.*, 1998).

2.2.1.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a densidade de massa pode ser absoluta (considerando vazios) ou unitária (desconsiderando vazios) e diz respeito à relação entre a massa da argamassa e o seu volume. Carasek (2007) afirma que essa propriedade varia com o teor de ar incorporado e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, principalmente dos agregados.

O teor de ar incorporado pode ser definido como a quantidade de ar que a argamassa possui em determinado volume e, à medida que esta propriedade cresce, a densidade de massa unitária decresce (MACIEL *et al.*, 1998).

Essas duas propriedades podem interferir em outras, por exemplo, uma argamassa com alto teor de ar incorporado e baixa densidade de massa se torna mais trabalhável a longo prazo o que aumentará a produtividade do operário, entretanto essas mesmas características podem prejudicar a resistência mecânica e a aderência da argamassa (CARASEK, 2007; MACIEL *et al.*, 1998).

2.2.1.4 Retração

A ocorrência de um mecanismo complexo relacionado com a variação do volume da pasta de aglomerante resulta na retração da argamassa, no qual a evaporação da água de amassamento e as reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes podem ser apontadas como alguns dos agentes deste mecanismo. Essa propriedade pode ser influenciada por fatores relacionados à própria argamassa como granulometria do agregado, teor de material pulverulento, relação água/aglomerante etc.; e por fatores relacionados à execução como a espessura e o

intervalo de aplicação das camadas entre outros (CARASEK, 2007; MACIEL *et al.*, 1998).

Sequeira (2019) afirma que, ainda na fase de secagem inicial, a retração gera fissuras pelas quais pode haver percolação de água através da argamassa e possibilidade de comprometimento do seu desempenho.

2.2.1.5 Adesão inicial

Para Carasek (2007), a adesão inicial é a propriedade que a argamassa possui de se fixar ao substrato imediatamente após seu lançamento, sem escorrer ou se desprender, permitindo manipulações para espalhar e acomodar a argamassa de modo correto, ou seja, é a capacidade de unir a argamassa ainda fresca ao substrato. Alves e Do Ó (2005) comentam que os mecanismos que governam essa propriedade são a difusão e a adsorção das moléculas da argamassa no interior dos poros do substrato. Maciel, Barros e Sabbatini (1998) afirmam que a adesão inicial depende de outras propriedades do estado fresco, das características do substrato e da superfície de contato efetivo entre a argamassa e o substrato.

2.2.2 Argamassas com agregado miúdo reciclado

Há vários benefícios ecológicos e econômicos na utilização do RCD em argamassas, pois ao reciclar os resíduos gerados em obra economiza-se com sua destinação correta e com a menor necessidade de compra de matéria prima convencional, contribuindo assim para a preservação das reservas naturais de matéria prima e para a diminuição da poluição originada pelo RCD. Entretanto, ainda existem algumas dificuldades operacionais de aplicação, como o ajuste adequado da trabalhabilidade e da relação água/aglomerante. (JOICHEM,2012).

Este problema pode ser atribuído à alta porosidade apresentada pelas diferentes fases que podem haver no RCD (concreto, argamassa, material cerâmico e rocha), pois parte da água de amassamento adicionada é absorvida fazendo com que o controle sobre a água livre e a água quimicamente combinada dessas misturas seja menos preciso. Isso influencia as propriedades no estado fresco e endurecido, como a absorção de água, a massa específica, a trabalhabilidade, a resistência

mecânica e a retenção de água (MALTA, *et al.*, 2013; JOCHEM, ROCHA E CHERIAF, 2013; NENO, 2010).

Portanto, pode-se dizer que o agregado reciclado possui características interessantes para a utilização em argamassas, mas são necessários estudos rigorosos para se definir procedimentos específicos devido à grande variabilidade deste material em cada região (MALTA *et al.*, 2013; JOCHEM, 2012).

2.3 INTRODUÇÃO À REOLOGIA

A palavra reologia foi cunhada por E. C. Bingham em 1929 e etimologicamente vem da palavra grega *rheim* que significa escorrer e *logos* que significa estudo (BARBOSA *et al.*, 2011).

A reologia é uma ciência relacionada com a mecânica dos corpos deformáveis, que analisa as respostas na forma de tensões ou deformações de um material no estado sólido, líquido ou gasoso frente à aplicação de uma tensão ou de uma deformação para assim estudar seu fluxo e deformação. Portanto, pode-se dizer que essa ramificação da física é regida por leis que descrevem a variação contínua do grau de deformação em função das forças externas aplicadas ao material (BRETAS e D'ÁVILA, 2005; KLIMACZEWSKI, 2017). Reis (2008) diz ainda que a reologia é voltada para o estudo da deformação e fluidez da matéria com relação direta entre tensão, deformação e tempo.

2.3.1 Definições preliminares

2.3.1.1 Viscosidade

Qualitativamente, a viscosidade é a propriedade que representa a resistência ao fluxo ou escoamento de um material, de modo que materiais com alta viscosidade fluem lentamente e os de baixa fluem rapidamente (BRETAS e D'ÁVILA, 2005; BARNES, 2000). A viscosidade pode ainda ser considerada como o atrito interno dos materiais, resultado do movimento de uma película do material em relação à outra adjacente (SOUSA E LARA, 2005).

Essa propriedade é bem definida para a maior parte dos líquidos puros e para muitas soluções e dispersões em determinada temperatura e pressão. Entretanto, no

caso dos fluidos não newtonianos, pode haver mudanças de muitas ordens de magnitude em função de variações da taxa ou tensão de cisalhamento (SOUSA E LARA, 2005; CASTRO, 2007).

Há dois tipos de viscosidade: a aparente e a diferencial. A viscosidade aparente é chamada assim quando a relação entre taxa de deformação e a tensão de cisalhamento não é linear, sendo esta propriedade dependente da taxa de deformação. Para fluidos newtonianos, a viscosidade aparente é constante e igual à sua viscosidade dinâmica. Já a viscosidade diferencial é a viscosidade determinada para uma taxa de deformação específica (MINUSSI, 2009).

2.3.1.2 Tensão crítica

Vários fluidos, aparentemente, não escoam enquanto a tensão neles aplicada não ultrapassa determinado valor. Somente quando as forças externas são fortes o suficiente para fazer a estrutura interna entrar em colapso, superando as forças de ligação entre as partículas, é que os elementos se deslocam irreversivelmente, ou seja, o sólido se transforma em um líquido. A curva típica desses materiais no gráfico de tensão cisalhante x taxa de deformação apresentam uma linha interceptando o eixo “tensão de cisalhante”, determinando assim, a tensão de escoamento (MINUSSI, 2009; CASTRO, 2007).

Sabe-se que grandes mudanças ocorrem quando a tensão aplicada nesses materiais tende à tensão de escoamento, entretanto as maiores dúvidas são em relação ao comportamento antes desse valor ser atingido (MINUSSI, 2009).

Ainda há muita discussão acerca da tensão crítica ou tensão de escoamento. Barnes (2000) comenta sobre a história da definição deste conceito, onde expõe várias questões e críticas acerca do assunto. O autor conclui que utilizando bons equipamentos, sendo criterioso na análise de dados e com tempo suficiente, pode-se observar que nenhum material possui tensão crítica. Entretanto, reconhece que “de fato, para todos os propósitos práticos, parecia haver uma tensão definida em que a viscosidade se tornava infinita” (BARNES, 2000, pág. 73).

2.3.1.3 Fluidos newtonianos

Os fluidos newtonianos são aqueles em que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento – a viscosidade dinâmica, ou simplesmente viscosidade – é constante e independente da taxa de deformação e do tempo, mesmo com a viscosidade podendo variar com a pressão e a temperatura. Estes fluidos são considerados ideais, mas em muitos casos são uma boa representação para muitos materiais (BARNES, 2000; CASTRO, 2007).

2.3.1.4 Fluidos não newtonianos

Os fluidos não newtonianos são aqueles que não possuem relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento. Estes tipos de materiais possuem então uma viscosidade aparente, que varia em função da taxa de cisalhamento aplicada, a uma determinada temperatura e pressão (FERREIRA *et al.*, 2005; SOUSA E LARA, 2005).

Existem três classes de fluidos não newtonianos: os viscoelásticos, os com comportamento reológico dependente do tempo e os independentes do tempo.

- Independentes do tempo

De acordo com Castro (2007), os fluidos que possuem comportamento reológico independente do tempo são os “fluidos em que a taxa de cisalhamento em qualquer ponto é função apenas da tensão de cisalhamento naquele ponto”.

- Dependentes do tempo

Os materiais com comportamento reológico dependentes do tempo são, nas palavras de Castro (2007, pág. 42), “sistemas mais complexos em que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento depende do tempo em que o fluido foi cisalhado”.

- Viscoelásticos

Os fluidos viscoelásticos são, de acordo com Castro (2007), “sistemas que apresentam tanto características de sólidos quanto de líquidos e que exibem uma recuperação elástica parcial após a deformação”.

2.3.2 Reologia das argamassas

Materiais cimentícios como as argamassas, quando no estado fresco, são considerados suspensões viscosas (pasta de cimento) com alto teor de partículas sólidas (agregados), sendo esta pasta de cimento formada por partículas finas de cimento em suspensão na água (MACIEL, BARBOSA e PEREIRA, 2016; BARBOSA, 2010).

Deve-se atentar para a característica multifásica desse tipo de compósito, pois além dos materiais já mencionados pode haver a presença de bolhas de ar incorporadas durante a fase de mistura.

As argamassas, de acordo com Reis (2008), são fluidos não newtonianos de comportamento pseudoplástico, com uma tensão crítica bem definida.

Para Carasek (2007), do ponto de vista reológico, a consistência da argamassa está ligada à tensão crítica, assim como a plasticidade está relacionada à viscosidade da argamassa.

Portanto, uma argamassa dita trabalhável deve ter viscosidade suficiente para que permita sua manipulação e aplicação no substrato, além de uma tensão crítica capaz de mantê-la em contato com o substrato após a aplicação, sem que haja escorregamento ou descolamento em função da gravidade (SOUSA E LARA, 2005).

2.3.2.1 Métodos de avaliação da reologia em argamassas

Mesmo com todo avanço nos estudos dos materiais de construção, ainda há um cunho empírico em alguns pontos, como a formulação de argamassas que possuem simultaneamente determinadas propriedades no estado fresco e endurecido. No caso das propriedades do estado fresco, o cenário é complexo pois há uma grande falta de estudos capazes de analisar metodicamente o tema, sendo

comum, inclusive no meio científico, a utilização de procedimentos baseados apenas na experiência dos pedreiros da área (SOUSA e LARA, 2005).

A *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et Matériaux* ou RILEM (1982), quando citado por Carasek (2007), comenta que conceitualmente existem testes aplicados em argamassas para avaliar de forma indireta a trabalhabilidade desses compósitos, como o de espalhamento na mesa de consistência, o de penetração do cone, o “squeeze flow”, entre outros. Entretanto, a mesma autora contra argumenta a organização RILEM (1982) ao afirmar que estes ensaios não servem para caracterizar a trabalhabilidade de forma completa, pois mesmo duas argamassas possuindo os mesmos resultados em qualquer um desses ensaios, do ponto de vista da trabalhabilidade, uma pode ser ótima enquanto a outra pode ser não aplicável.

Ultimamente, a reologia dos materiais cimentícios tem sido estudada por meio não só de ensaios simples, mas por testes sofisticados como os ensaios reométricos. Esses ensaios possibilitam estudar de forma mais detalhada o comportamento reológico dos materiais. Entretanto, os reômetros são equipamentos caros e delicados. O preço desses equipamentos levou ao estudo e criação de métodos alternativos de custo reduzido como a técnica do plano inclinado e a técnica de Pashias. (MACIEL, BARBOSA e PEREIRA, 2016). Ademais, outro impulsionador da busca de métodos alternativos é a necessidade de que os ensaios sejam passíveis de realização *in loco*.

2.3.2.1.1 Técnica de Pashias

Pashias *et al.* (1996) em sua pesquisa intitulada “*A fifty cent rheometer for yield stress measurement*”, adotaram o modelo analítico que relacionava a altura de queda do “*slump test*” com a tensão crítica do material ensaiado, para uma geometria cilíndrica.

Embora tenha sido desenvolvido para o concreto fresco, o método foi modificado a fim de englobar outros materiais.

A técnica de Pashias *et al.* consiste em preencher uma estrutura cilíndrica com camadas do material a ser ensaiado, posteriormente essa estrutura é removida e a diferença de altura (o abatimento) entre o molde e a argamassa é verificada, associando-se à tensão crítica do material alvo do estudo. Há ainda a possibilidade

de se utilizar massas adicionais no topo da amostra para vencer eventuais tensões críticas elevadas (BARBOSA, *et al.* 2011). Para a realização deste ensaio é necessário um cilindro de PVC aberto em ambas as extremidades, uma placa retangular de superfície lisa com um eixo vertical em seu centro e, caso necessário, um disco metálico para alocar a massa adicional (MACIEL, BARBOSA e PEREIRA, 2016).

A FIGURA 01 mostra o aparato encomendado pelo autor para a realização do ensaio descrito.

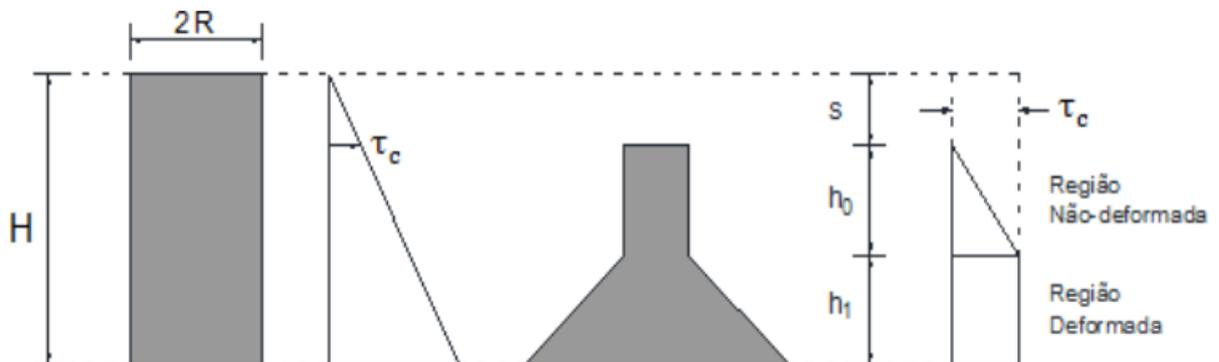
FIGURA 01 – APARATO DE PASHIAS.



FONTE: O autor (2022).

Pashias *et al* (1996) determinaram que, nesse ensaio a tensão crítica (τ_c) é determinada de forma indireta por meio das EQUAÇÕES 1 a 6. A FIGURA 03 apresenta o comportamento das tensões enquanto o ensaio é realizado.

FIGURA 02 – DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES ANTES E APÓS O ABATIMENTO.



FONTE: Pashias *et al.* (1996) apud. Maciel *et al.* (2016).

A EQUAÇÃO 01 determina a pressão (P_0) causada pela massa adicional acima da amostra:

$$P_0 = \frac{m_0}{\pi R^2} g \quad (1)$$

Onde:

m_0 : massa adicionada no topo da amostra;

R : raio do cilindro no qual a argamassa está contida durante o ensaio;

g : aceleração da gravidade.

A pressão total (P) resultante na amostra de argamassa é determinada pela EQUAÇÃO 02:

$$P = \rho g H + P_0 \quad (2)$$

Onde:

ρ : massa específica da argamassa;

H : altura do cilindro.

Essa adição de massa equivale a um aumento fictício de altura da amostra (Z_0), determinada pela EQUAÇÃO 03:

$$Z_0 = \frac{m_0}{\rho \pi R^2} \quad (3)$$

Onde:

Z_0 : aumento fictício de altura.

Considerando as equações acima, a tensão crítica (τ_c) é determinada a partir da EQUAÇÃO 04:

$$h_0 = \frac{2\tau_c}{\rho g} - Z_0 \quad (4)$$

Onde:

h_0 : altura da região não deformada da amostra;

τ_c : tensão crítica.

Por meio da EQUAÇÃO 5 a altura da região deformada da amostra (h_1) é definida, usando a altura equivalente total da amostra ($H + Z_0$):

$$h_1 = \frac{2\tau_c}{\rho g} \ln \left(\frac{\rho g}{2\tau_c} (H + Z_0) \right) \quad (5)$$

Onde:

h_1 : altura da região deformada da amostra.

Utilizando as EQUAÇÕES 4 e 5, determina-se o abatimento (s) conforme a EQUAÇÃO 6:

$$s = H - (h_0 + h_1) = H + Z_0 - \frac{2\tau_c}{\rho g} \left(1 + \ln \frac{\rho g (H + Z_0)}{2\tau_c} \right) \quad (6)$$

Onde:

s : abatimento da argamassa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, os traços de argamassa analisados variaram em torno do traço 1:3. Os traços em volume utilizados constam no QUADRO 1:

QUADRO 1 – TRAÇOS DE ARGAMASSA ANIDRA UTILIZADOS

| Traços | Cimento | Agregado |
|---------|---------|----------|
| Traço 1 | 1 | 2,5 |
| Traço 2 | 1 | 3,0 |
| Traço 3 | 1 | 3,5 |

FONTE: O autor (2022).

A água de amassamento foi padronizada como a quantidade necessária para que todos os traços possuíssem um índice de consistência em torno de (260 ± 5) mm, valor sugerido pela NBR 16541 (2016).

3.1 MATERIAIS

O cimento Portland utilizado foi o CP II Z 32 do lote L. 001 com mês de fabricação em mar/21, com as seguintes especificações fornecidas pela fabricante, na Tabela 01:

TABELA 1 – ESPECIFICAÇÕES DO CIMENTO PORTLAND

| Ensaio | Resultados |
|---|------------|
| Massa específica (g/cm ³) | 2,97 |
| Teor de Perda ao Fogo (%) | 7,39 |
| Teor de MgO (%) | 5,68 |
| Teor de SO ₃ (%) | 2,68 |
| Teor de RI (%) | 11,28 |
| Finura (#200) (%) | 0,70 |
| Finura (#325) (%) | 9,71 |
| Superfície específica método de Blaine (cm/g) | 3632,11 |
| Água para consistência normal (%) | 28,91 |
| Tempo início de pega (min) | 290,53 |
| Tempo fim de pega (min) | 363,95 |
| Expansibilidade a quente (mm) | 0,34 |
| Resistência compressão 1 dia (Mpa) | 12,37 |
| Resistência compressão 3 dias (Mpa) | 22,66 |
| Resistência compressão 7 dias (Mpa) | 27,06 |
| Resistência compressão 28 dias (Mpa) | 34,59 |

FONTE: Fabricante A (2022).

O agregado miúdo utilizado foi o reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) da região metropolitana de Curitiba, com as seguintes especificações fornecidas pela fabricante, na Tabela 02 abaixo:

TABELA 2 – ESPECIFICAÇÕES DO AGREGADO MIÚDO

| Ensaio | Resultados |
|---|-------------------|
| Dimensão máxima característica (mm) | 4,8 |
| Sulfatos (%) | 1,0 |
| Cloretos (%) | 1,0 |
| Absorção de água (%) | 12,0 |
| Materiais não minerais (%) | 2,0 |
| Torrões de argila (%) | 2,0 |
| Teor total máximo de contaminantes (%) | 3,0 |
| Teor de finos passante na malha 0,075mm (%) | 15,0 |

FONTE: Fabricante B (2022).

A água utilizada foi a fornecida pela empresa de abastecimento da cidade de Pontal do Paraná.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Massa específica do agregado miúdo

O ensaio de determinação da massa específica do agregado miúdo reciclado de RCD foi realizado seguindo os procedimentos descritos na NM 52(2002), utilizando os seguintes equipamentos:

- Balança
- Frasco de Erlenmeyer de 500cm³
- Molde trococônico metálico
- Estufa
- Bandeja
- Circulador de ar regulável
- Funil
- Dessecador
- Pipeta

Para o preparo da amostra, 1kg de agregado miúdo reciclado foi coberto com água e deixado em repouso por 24h, para que ficasse na condição saturada.

FIGURA 3 – AGREGADO MIÚDO RECICLADO NO ESTADO SATURADO



FONTE: O autor (2022).

Depois de saturado, o agregado miúdo foi colocado em uma superfície plana e submetido a uma leve corrente de ar para ser seco enquanto era misturado, a fim de que a secagem fosse uniforme, como mostrado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – SECAGEM DO AGREGADO MIÚDO COM CORRENTE DE AR



FONTE: O autor (2022).

De tempos em tempos, a amostra de agregado miúdo era colocada no molde tronco cônico em uma única camada que era compactada suavemente com 25 golpes usando o soquete metálico e depois o molde era retirado para verificar se sua forma era mantida ou não. O processo se repetiu até o momento em que, ao desformar, o agregado desmoronou parcialmente, indicando que a amostra estava na condição desejada – saturada com superfície seca, como mostra a FIGURA 5:

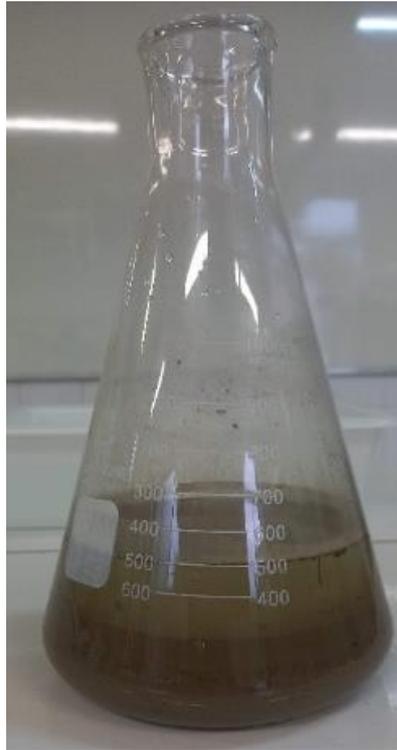
FIGURA 5 – AGREGADO NA SITUAÇÃO SATURADA COM SUPERFÍCIE SECA



FONTE: O autor (2022).

Após essa etapa, 500g da amostra saturada com superfície seca foram pesados e colocados no frasco. Nesse mesmo frasco, foi adicionada água até próximo de 500mL, e então o frasco foi movimentado por alguns minutos para retirar todas as bolhas de ar e deixado em repouso em um banho por 1h. Depois desse período, o frasco foi completado com água até a marca de 500mL utilizando uma pipeta. Ao final, a massa do conjunto foi verificada e anotada, como mostra a FIGURA 6.

FIGURA 6 – MISTURA DA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

Por fim, todo o material dentro do frasco foi colocado em um recipiente metálico próprio para ir para a estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, onde ficou por 24h. Após esse período, a amostra foi resfriada no dessecador e teve sua massa verificada, descontando a massa do recipiente que ocupava.

Utilizando as equações descritas na NM 52(2002), foram feitos os cálculos necessários para chegar aos resultados.

3.2.2 Mistura das argamassas

A mistura dos materiais das argamassas foi realizada de acordo com o método descrito pela NBR 16541:2016, utilizando um misturador mecânico com capacidade para 5dm^3 , com uma pá de metal que gira em torno do próprio eixo e em torno da cuba, com sentido de giro opostos assim como descrito pela NBR 7215:2019. A FIGURA 7 mostra o momento da mistura de uma das argamassas:

FIGURA 7 – MISTURA DA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

3.2.3 Índice de consistência

O ensaio de índice de consistência da argamassa foi realizado seguindo o que é descrito na norma ABNT NBR 13276:2016, utilizando os seguintes equipamentos:

- Mesa para índice de consistência;
- Molde troncocônico;
- Soquete metálico;
- Régua metálica.

Antes de iniciar o ensaio, para cada traço de argamassa, a mesa de índice de consistência, assim como o molde troncocônico foram limpos e neles foi passada uma camada fina de desmoldante.

Logo após a mistura das argamassas, cada uma foi levada para a bancada da mesa de índice de consistência onde o molde troncocônico já estava posicionado no centro da mesa.

O molde foi preenchido com três camadas de argamassa de mais ou menos mesma altura onde cada uma dessas foi adensada com o soquete metálico com 15 golpes na primeira camada, 10 na segunda e 5 na camada do topo. O molde de

argamassa foi rasado com movimentos de vai-e-vem utilizando a régua metálica, adicionando mais argamassa caso fosse necessário. Em seguida o molde troncocônico foi removido e a manivela da mesa de índice de consistência foi acionado 30 vezes em 30 segundos e, imediatamente após o último acionamento de alavanca, foram feitas 3 medidas do diâmetro com pontos aproximadamente igualmente distribuídos ao longo do perímetro da argamassa abatida. A média das três medidas é adotada como o valor do índice de consistência.

O ensaio foi repetido para cada traço de argamassa, adicionando-se água aos poucos até que o índice de consistência atingisse o valor de (260 ± 5) mm, sugerido pela NBR 16541 (2016), como ilustrado pela FIGURA 8.

FIGURA 8 – ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA



FONTE: O autor (2022).

3.2.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio para a verificação da densidade de massa e teor de ar incorporado foi realizado seguindo o que é descrito na ABNT NBR 13278:2005, utilizando os seguintes equipamentos:

- Balança com resolução de 0,1g;
- Recipiente rígido, cilíndrico, de material não absorvente, com capacidade aproximada de 400cm³, altura aproximada de 85mm e diâmetro próximo de 80mm;

- Espátula de com largura de no máximo 20mm e comprimento mínimo de 150mm;
- Placa de vidro plano, transparente, com seção quadrada de 100mm e espessura mínima de 3mm.

Antes de iniciar o ensaio, foi feita a calibração do recipiente cilíndrico como ilustra a FIGURA 9. Para isso, foi verificada a massa do recipiente juntamente com a placa de vidro. Em seguida, o recipiente foi totalmente preenchido com água, e o volume utilizado foi anotado. Por fim, o recipiente preenchido foi nivelado com a placa de vidro para que não sobrasse nenhuma bolha de ar e a massa do conjunto foi verificada.

FIGURA 9 – CALIBRAÇÃO DO RECIPIENTE



FONTE: O autor (2022).

Imediatamente após a mistura da argamassa, o recipiente metálico calibrado foi preenchido com três camadas de argamassa, sendo cada uma adensada por meio da aplicação de 20 golpes utilizando a espátula na posição vertical. Na primeira camada a espátula não bateu com força no fundo do recipiente e, nas outras duas camadas, a força utilizada foi apenas a necessária para atingir o topo da camada logo abaixo.

Após o adensamento da última camada, para retirada de qualquer bolha de ar entre a parede do recipiente e a argamassa, foram realizadas três quedas do recipiente de uma altura de aproximadamente 3cm.

Em seguida foi realizado o rasamento do topo da última camada, com movimentos ortogonais entre si de vai e vem utilizando a espátula num ângulo de aproximadamente 45° em relação à superfície da argamassa.

Por fim, toda a parte externa do recipiente foi limpa para que não houvesse partículas extras que mascarassem a real massa do conjunto, que foi medida e anotada como ilustra a FIGURA 10.

FIGURA 10 – DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO



FONTE: O autor (2022).

Os valores para a densidade da argamassa e o teor de ar incorporado foram calculados utilizando as equações descritas na NBR 13278 (2005).

3.2.5 Tensão crítica – técnica de Pashias

O ensaio de abatimento modificado, utilizando a técnica de Pashias, foi realizado conforme o estudo de Pashias *et al.* (1996), além das pesquisas de Maciel

et al (2016) e Barbosa *et al.* (2011). Para tal ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Haste de adensamento;
- Espátula;
- Paquímetro.
- Aparato de Pashias;

Em um primeiro momento, todo o aparato de Pashias foi higienizado, umedecido e disposto em uma bancada rígida, plana e horizontal com o cilindro no centro da base.

Após a finalização da mistura da argamassa, o cilindro foi preenchido por ela em três camadas de alturas aproximadamente iguais, sendo cada uma das camadas adensada com 25 golpes em toda sua área, utilizando a haste de adensamento. Para cada camada, a haste de adensamento só poderia ser inserida com a força suficiente para atingir a superfície superior da camada imediatamente anterior.

Logo após o adensamento da última camada, foi feito o nivelamento da amostra utilizando a espátula e alocadas a tampa e a massa adicional no topo do conjunto, como ilustra a FIGURA 11:

FIGURA 11 – MÉTODO DE PASHIAS



FONTE: O autor (2022).

Por fim, toda a base foi limpa para só então o cilindro ser removido em um único movimento vertical e então o abatimento da argamassa foi medido nos tempos 0min, 15min e 30min, como ilustra a FIGURA 12.

FIGURA 12 – ABATIMENTO DA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO

A massa específica do agregado miúdo reciclado de RCD calculada foi de $3,04 \text{ g/cm}^3$, praticamente igual a massa específica do cimento Portland utilizado de valor $2,97 \text{ g/cm}^3$.

Geralmente os agregados graúdos presentes no concreto têm massa específica maior, isso pode indicar que o agregado miúdo reciclado de RCD utilizado possui restos de concreto.

4.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Durante os ensaios de índice de consistência, foram feitas avaliações qualitativas das argamassas de maneira visual, para avaliação de possíveis aspectos negativos dos traços tais como esvaziamento, segregação, perda de trabalhabilidade etc. Durante este ensaio, não houve qualquer tipo de aspecto negativo nas argamassas quando elas atingiram o índice de consistência especificado na NBR 16541 (2016), apresentando boa trabalhabilidade, como mostrado na FIGURA 13.

FIGURA 13 – TRAÇO 1 (ESQUERDA), TRAÇO 2 (DIREITA) E TRAÇO 3 (BAIXO).



FONTE: O autor (2022).

Os resultados do consumo de água ideal para que cada traço de argamassa atingisse o índice de consistência de (260 ± 5) mm estão apresentados na TABELA 3.

TABELA 3 – TRAÇOS EM VOLUME DE ARGAMASSA ANIDRA UTILIZADOS

| Traços | Cimento | Agregado miúdo | a/c | Índice de consistência (mm) |
|---------|---------|----------------|-------|-----------------------------|
| Traço 1 | 1 | 2,5 | 0,770 | 25,700 |
| Traço 2 | 1 | 3,0 | 0,896 | 25,767 |
| Traço 3 | 1 | 3,5 | 1,008 | 25,767 |

FONTE: O autor (2022).

Pode-se observar um aumento gradativo na relação/água cimento à medida que a quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD aumenta. Este resultado é coerente com o observado por Ferreira (2017) em sua pesquisa sobre os efeitos da incorporação da areia de RCD em argamassas mistas de revestimento.

O autor comenta que a grande quantidade de finos presente na composição do agregado reciclado de RCD foi determinante para as argamassas apresentassem uma alta relação água/cimento (a/c).

Considerando que a NBR 15116 (2021) limita o teor de finos passantes pela peneira 0,0075mm em até 12%, o agregado utilizado estaria acima do teor permitido pois o valor informado pelo fabricante para tal propriedade é de 15%. Considerando que muitos autores comentam sobre a grande absorção de água do agregado reciclado, pode-se relacionar o aumento da relação a/c com o fato desse tipo de material absorver a água de amassamento da argamassa, o que pode causar déficits na trabalhabilidade, na hidratação das partículas de cimento e, em consequência, resultar na perda de resistência.

Jochem (2012) aponta que uma das opções para se evitar esse efeito da absorção de água do agregado reciclado de RCD é causar a saturação prévia do mesmo, deixando-o em contato com a água necessária para saturação por aproximadamente 7 minutos e, após isso, seguir com a mistura normalmente.

Considerando que a NBR 15116 (2021) limita a absorção de água do agregado reciclado misto como sendo maior do que 12% para o uso em compósitos cimentícios, o agregado utilizado na presente pesquisa está no limite de aceitação da NBR.

Portanto, pode-se dizer que o grande consumo de água é devido à sua alta absorção de água causada pela grande quantidade de poros que esse tipo de material reciclado tem e a grande quantidade de *filler* presente no agregado miúdo reciclado de RCD.

4.3 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

Os resultados da densidade da argamassa e teor de ar incorporado estão apresentados conforme a TABELA 4.

TABELA 4 – RESULTADOS PARA DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

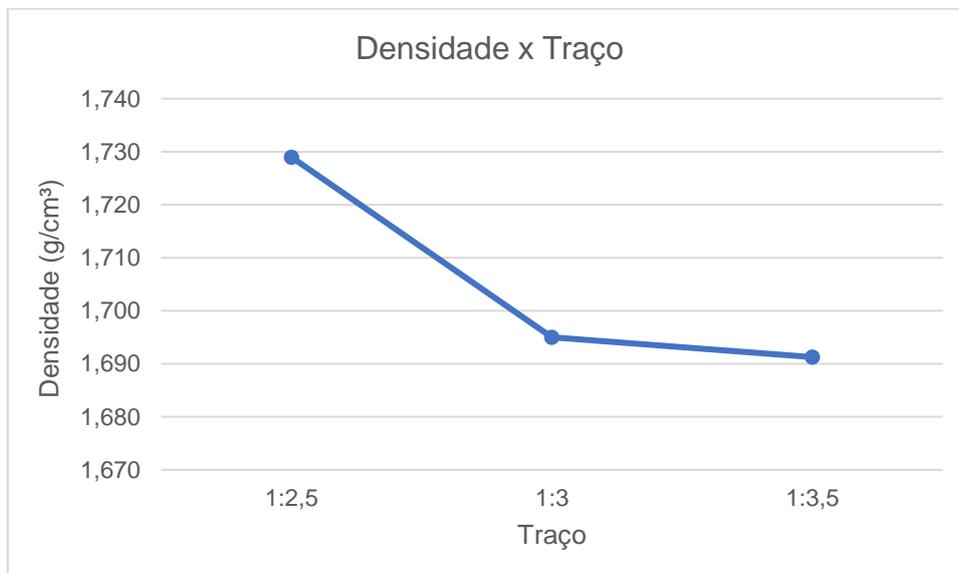
| Traços | Densidade (g/cm ³) | Teor de ar incorporado (%) |
|---------|--------------------------------|----------------------------|
| Traço 1 | 1,729 | 21,782 |
| Traço 2 | 1,695 | 23,054 |
| Traço 3 | 1,691 | 23,252 |

FONTE: O autor (2022).

Segundo a classificação de Carasek (2010) quanto à densidade da argamassa no estado fresco, todas as argamassas ensaiadas são classificadas como normais, pois seus valores ficaram entre 1,40 g/cm³ e 2,30 g/cm³, o que significa que elas podem ser utilizadas em aplicações convencionais.

Analisando os valores obtidos para cada um dos traços de argamassa, no GRÁFICO 1, pode-se perceber que o aumento da quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD em cada traço se relaciona com uma diminuição dos valores da densidade, o que pode ser em função do aumento do teor de ar incorporado como mostrado no GRÁFICO 2.

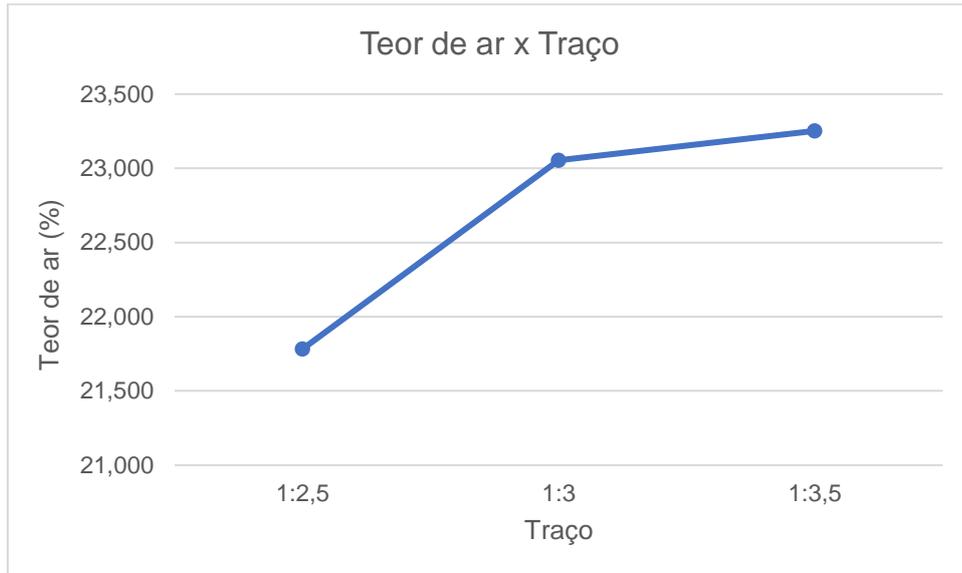
GRÁFICO 1 – RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E TRAÇO DA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

O GRÁFICO 2 mostra o comportamento da argamassa em relação ao teor de ar incorporado. Observa-se que o aumento da quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD em cada traço provocou um aumento nos valores do teor de ar incorporado na argamassa.

GRÁFICO 2 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE AR INCORPORADO E TRAÇO DA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

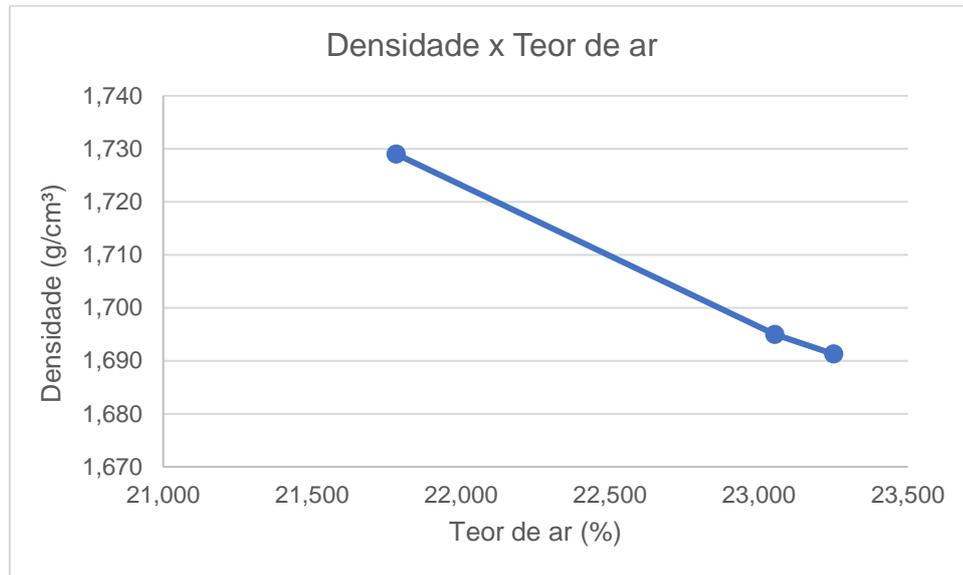
Verificou-se que a densidade teórica da argamassa se modifica à medida que a massa específica do agregado miúdo aumenta ou diminui.

Constatou-se que o teor de ar incorporado na argamassa também varia à medida que a massa específica do agregado miúdo se altera.

Considerando o aumento da quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD em cada traço, Julião (2016), comenta que é esperado que o valor da massa específica da argamassa seja modificado em função da massa específica do agregado miúdo reciclado utilizado. Ela ainda cita Kikuchi *et al.* (1993) ao dizer que essa propriedade também pode modificar os valores do teor de ar incorporado na argamassa. Assim como visto no GRÁFICO 2.

Carasek (2010) comenta que a densidade de massa da argamassa também varia de acordo com o teor de ar incorporado. Como mostrado pelo GRÁFICO 3, pode-se observar que a medida que a densidade de massa da argamassa diminui, o teor de ar incorporado na argamassa aumenta. Ainda, nota-se no GRÁFICO 3 que essa relação é suave.

GRÁFICO 3 – RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E TEOR DE AR INCORPORADO NA ARGAMASSA



FONTE: O autor (2022).

Portanto, considerando o aumento da quantidade de agregado miúdo em cada traço, pode-se dizer que a massa específica do agregado miúdo reciclado de RCD teve influência na diminuição dos valores da densidade da argamassa e, portanto, no aumento dos valores do teor de ar incorporado.

4.4 TENSÃO CRÍTICA – TÉCNICA DE PASHIAS

Para o ensaio utilizando a técnica de Pashias, as medidas do aparato de Pashias além da massa tampa e massa adicional foram verificadas, mostradas na TABELA 5.

TABELA 5 – MEDIDAS DO APARATO DE PASHIAS

| Dado pertinente | Medidas |
|------------------------|----------------|
| Altura do cilindro | 20,60 cm |
| Diâmetro do cilindro | 98,65 cm |
| Massa da tampa | 27,00 g |
| Massa adicional | 890,30 g |

FONTE: O autor (2022).

4.4.1 Abatimento

Os resultados do abatimento são apresentados na TABELA 6.

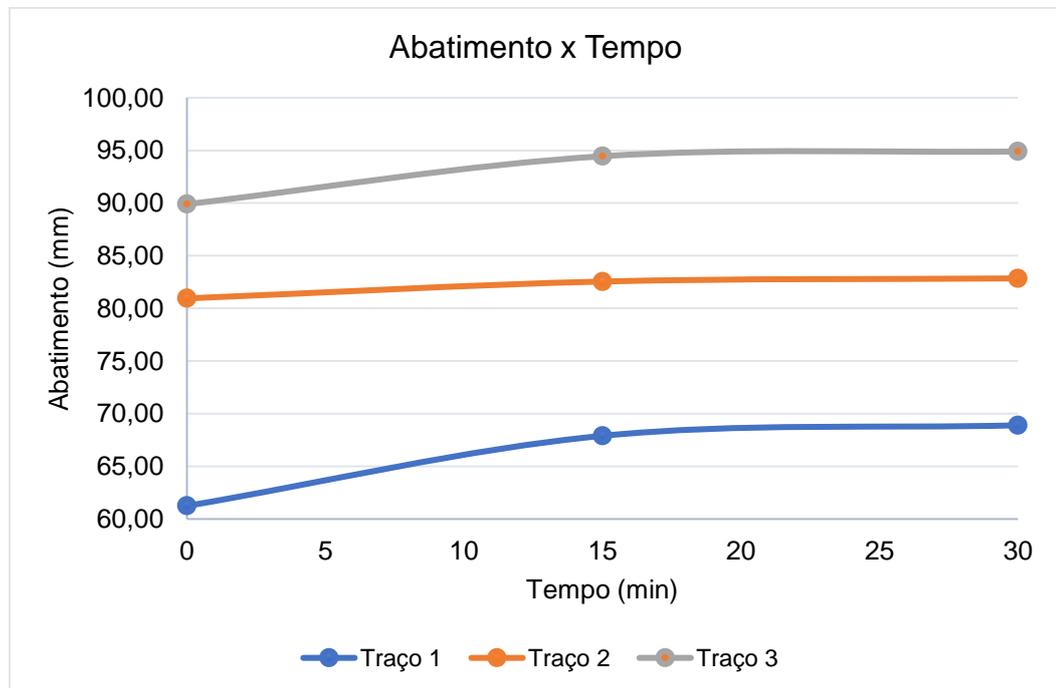
TABELA 6 – RESULTADOS PARA O ABATIMENTO.

| Traços | Abatimento (mm) | | |
|---------|-----------------|--------|--------|
| | 0 min | 15 min | 30 min |
| Traço 1 | 61,25 | 67,90 | 68,90 |
| Traço 2 | 80,95 | 82,55 | 82,85 |
| Traço 3 | 89,90 | 94,45 | 94,90 |

FONTE: O autor (2022).

Observando o GRÁFICO 4, pode-se verificar que houve variação do abatimento apenas nos primeiros 15min de ensaio nos três traços de argamassa e, após esse período, houve um patamar de estabilidade com variações menores do que 1mm para os abatimentos.

GRÁFICO 4 – ABATIMENTO DA ARGAMASSA COM O PASSAR DO TEMPO



FONTE: O autor (2022).

Alinhado a esse comportamento está o fato de a argamassa parecer bem mais rígida após os 15min, o que aponta para uma perda de trabalhabilidade da mesma entre os tempos de 15 e 30 minutos. Tal fato ocorreu com os três traços, o que permitiu

que as argamassas ensaiadas pudessem ser manipuladas sem que sua forma final, após o ensaio, fosse modificada. Este comportamento, para uma amostra do traço 3, é mostrado na FIGURA 14.

FIGURA 14 – ARGAMASSA COM COMPORTAMENTO DE SÓLIDO



FONTE: O autor (2022).

Essa perda de trabalhabilidade é um aspecto negativo do ponto de vista prático para o canteiro de obras, uma vez que os trabalhadores não teriam tempo suficiente para o manuseio e aplicação dos traços das argamassas ensaiadas.

Pode-se observar no GRÁFICO 5, que o abatimento é positivamente correlacionado com o teor de agregados miúdos da amostra. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento do teor de ar incorporado na argamassa em decorrência da diminuição da densidade de massa da argamassa à medida que o teor de agregado miúdo reciclado aumenta. Este argumento é endossado por Cardoso (2009), quando o autor comenta que “as bolhas de ar aumentam o volume ocupado pela pasta e reduzem sua resistência, promovendo facilidade do fluxo da própria pasta e, também, do escorregamento dos agregados”.

4.4.2 Tensão crítica

Os resultados da Tensão crítica calculados a partir do abatimento, estão apresentados conforme na TABELA 7.

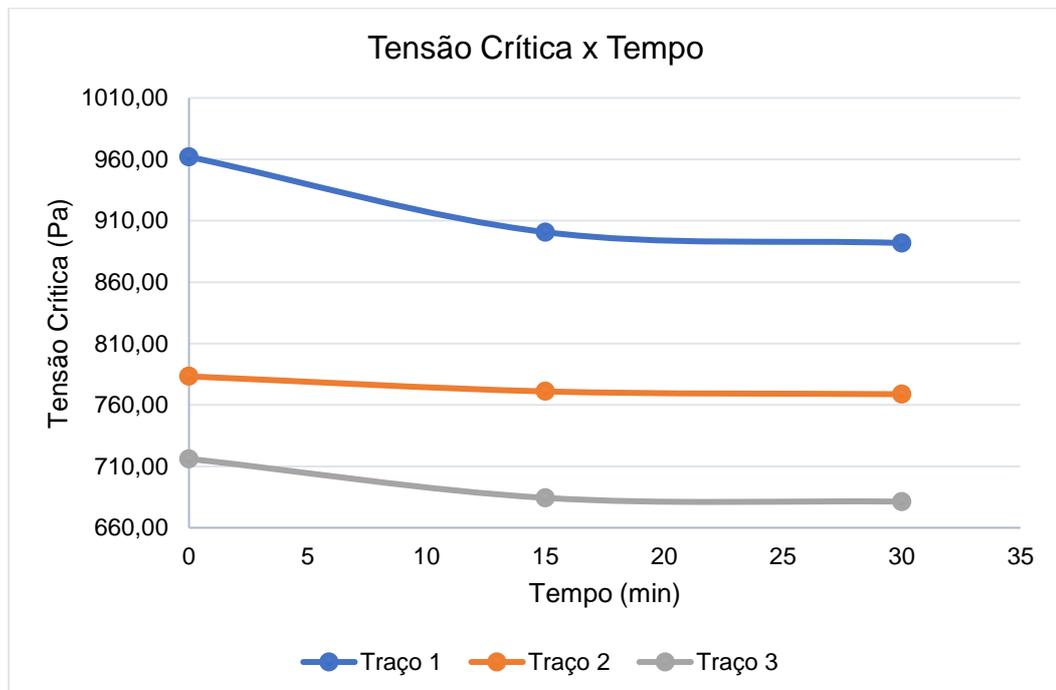
TABELA 7 – RESULTADOS PARA A TENSÃO CRÍTICA

| Traços | Tensão crítica (Pa) | | |
|---------|---------------------|--------|--------|
| | 0 min | 15 min | 30 min |
| Traço 1 | 962,03 | 900,70 | 891,85 |
| Traço 2 | 783,28 | 771,03 | 768,75 |
| Traço 3 | 716,12 | 684,36 | 681,29 |

FONTE: O autor (2022).

Pode-se observar no GRÁFICO 5 que, do mesmo modo que há um patamar de estabilidade para os valores do abatimento, há também esse mesmo patamar para tensão crítica após os primeiros 15 minutos de ensaio. Isso se deve principalmente pela tensão crítica ser definida em função dos valores do escoamento no método de Pashias *et al.* (1996).

GRÁFICO 5 – TENSÃO CRÍTICA DA ARGAMASSA COM O PASSAR DO TEMPO



FONTE: O autor (2022).

Comparando os GRÁFICOS 4 e 5 pode-se concluir que a medida que o abatimento cresce a tensão crítica decresce. Esse comportamento é interessante pois, em outros trabalhos foram encontrados comportamentos diferentes para a tensão crítica. No caso de Barbosa *et al.* (2011), o mesmo ensaio de abatimento pelo método de Pashias foi utilizado e nesta pesquisa os valores não se comportaram de forma decrescente para os tempos de 0min, 15min e 30min e sim de forma crescente.

A diferença entre o comportamento observado pelo autor da presente pesquisa e por Barbosa *et al.* (2011) pode ser devido:

- Ao tipo de agregado miúdo utilizado no qual o primeiro utilizou agregado miúdo reciclado de RCD enquanto o segundo optou pelo natural.
- A utilização do mesmo traço de argamassa anidra para as argamassas, enquanto na presente pesquisa houve uma variação no teor de agregado miúdo na argamassa.

4.4.3 Viscosidade aparente

Por meio da avaliação qualitativa do aspecto físico de cada argamassa nos tempos de 0min, 15min e 30min foi possível a verificação da viscosidade aparente de cada argamassa.

A FIGURA 15 mostra as argamassas no tempo de 0 minutos, logo após se retirar o molde cilíndrico. Pode-se observar que nesse tempo a argamassa se comportou como um líquido pois escoou, mesmo que pouco.

FIGURA 15 – VISCOSIDADE APARENTE



FONTE: O autor (2022).

As medidas dos 15 minutos e dos 30 minutos de ensaio mostram que não houve diferença entre os abatimentos das argamassas, o que pode indicar que a viscosidade delas nesses momentos tendia ao infinito e, portanto, pode-se dizer que a argamassa se comportava como um sólido nesses dois tempos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A massa específica encontrada para o agregado miúdo reciclado é bem próxima da massa específica do cimento Portland utilizado, pois de acordo com a fabricante, para a fabricação do agregado foram utilizados resíduos de construção e demolição que possuem cimento em sua composição.

A massa específica do agregado miúdo reciclado de RCD ainda colaborou para a diminuição da densidade de massa da argamassa e no respectivo aumento do teor de ar incorporado, uma vez que as três propriedades estão interligadas.

O índice de consistência mostrou que a medida que a quantidade de agregado miúdo reciclado de RCD aumentava em cada traço, o consumo de água para que cada uma das argamassas atingisse o valor de índice de consistência normal definido como (260 ± 5) mm também aumentava e, portanto, o fator água/cimento. Esse comportamento foi verificado por outros autores que concluíram ser devido ao RCD possuir grande absorção de água e alto teor de finos passantes pela malha #0,075mm. Ambas as propriedades foram constatadas na tabela de especificações do agregado miúdo, fornecida pelo fabricante.

Durante o ensaio de índice de consistência, não foi observado nenhum tipo de comportamento que comprometesse a trabalhabilidade da argamassa, pelo contrário, os três traços se mostraram coesos e trabalháveis no curto período de tempo do ensaio. Entretanto, no ensaio de tensão crítica, quando os traços também foram avaliados com o parâmetro temporal, percebeu-se uma estabilidade no abatimento da argamassa a partir dos 15 minutos de ensaio. A partir disso, concluiu-se que a boa trabalhabilidade atestada no ensaio anterior se perde no tempo, a ponto de o comportamento dessas argamassas poderem ser comparados com o de um sólido, pois sua viscosidade aparentemente estava tendendo ao infinito.

Percebeu-se ainda, que para os materiais e traços utilizados, a tensão crítica diminuía a medida que o abatimento da argamassa aumentava. E, como o abatimento da argamassa aumentou a medida que o teor de agregado miúdo reciclado aumentou em cada traço, pode-se dizer que a tensão crítica diminuiu em função do aumento da quantidade de agregado miúdo reciclado na argamassa.

Por fim, houve algumas variáveis que não foram possíveis de controlar por falta de estrutura do laboratório do campus. A umidade relativa do ar e temperatura ambiente não foram possíveis de serem medidas nem controladas pois o laboratório

não é climatizado e nem possui os aparelhos para medição desses fatores que podem interferir diretamente no comportamento reológico das argamassas. Além disso, a *flow table* não estava fixada na bancada o que pode ter causado vibrações excessivas nas argamassas ensaiadas e ter interferido nas medidas feitas para o índice de consistência, levando a valores errôneos da relação água/cimento.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Utilização de um traço de referência e traços intermediários para uma melhor visualização do comportamento reológico das argamassas;
- Controle das variáveis umidade relativa do ar e como elas podem interferir no comportamento das argamassas;
- Estudo da granulometria do agregado miúdo reciclado de RCD para observação do efeito do empacotamento de partículas e como ele pode influenciar no estudo.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa**. 1.ed. São Paulo, 2003. 104p.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2018.

ALVES, N. J. D.; DO Ó, S. W. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água**. In: Elton Bauer. (Org.). *Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades*. 1ed. Brasília: LEM-UnB e SINDUSCON-DF, 2005, v. 1.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, p. 4. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, p. 6. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, p. 2. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, p. 2. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, p. 4. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112: Resíduos de construção e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, p. 7. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, p. 12. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, p. 7. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos**. Rio de Janeiro, p. 10. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, p. 16. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro, p. 13. 2013.

BARBOSA, W. S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada sobre substratos porosos.** 2010. 152 p. Dissertação (Mestre) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARBOSA, M. P.; MACIEL, G. F.; CASTRO, A. L.; REIS, J. F. A.; LEMOS, K. A. A. **Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas.** Revista Ibracon de estruturas e materiais, v. 4, n. 3, p. 440-480, agosto 2011.

BARNES, H. A. **A Handbook of Elementary Rheology.** 1. ed. Aberystwyth: The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2000. 201 p. ISBN 0-9538032-0-1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 01 agosto 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Disponível em: <www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>. Acesso em: 01 agosto 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011.** Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Disponível em: <www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>. Acesso em: 01 agosto 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 469, de 29 de julho de 2015.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>. Acesso em: 01 agosto 2020.

BRETAS, R. E.; D'AVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos.** 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2005. 257 p. ISBN 85-7600-048-2.

CANEDO, A. C.; BRANDÃO, F. B.; PEIXOTO FILHO, F. L. **Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento**. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Ed). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 1. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2007. Cap. 26.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: Isaia, G.C. (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese (Doutorado) – EPUSP. São Paulo-SP, 2009.

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. Tese (Doutorado) - USP, São Carlos, 2007.

CHRISTENSEN, G., **Modelling the flow of fresh concrete: the slump test**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Princeton, Princeton, 1991.

FERREIRA, R. L. S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. 132 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2017.

FERREIRA, E. E.; BRANDÃO, P. R. G.; KLEIN, B.; PERES, A. E. C. **Reologia de suspensões minerais: uma revisão**. REM - International Engineering Journal, Ouro Preto, v. 58, ed. 1, p. 83-87, Jan./Mar. 2005.

HAWLITSCHKE, G. **Caracterização das propriedades de agregados miúdos reciclados e a influência no comportamento reológico de argamassas**. 166 f. Dissertação (Mestre) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário de reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. SEMA/CETESB/GESP, 2000.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura**. 221 p. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Estudo comparativo entre argamassas de revestimento de RCD e com agregado de britagem**. In:

ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: [S. l.: s. n.], 2013.

JULIÃO, N. R. **Comportamento Reológico e mecânico de argamassas contendo resíduos de demolição como agregado miúdo.** TCC (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

KIKUCHI, M.; YASUNAGA, A; EHARA, K. **The total evaluation of recycled aggregate and recycled concrete.** In: International Rilem Symposium, Odense, Dinamarca, 1993.

KLIMACZEWSKI, F. A. **Avaliação da reologia no estado fresco de argamassas com substituição de cimento Portland por cinza volante, sílica da casca do arroz e metacaulim.** TCC (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

MACIEL, L. L.; MÉRCIA, M. S. B. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores.** São Paulo, 1998. (Apostila).

MACIEL, G.F.; BARBOSA, M.P.; PEREIRA, J.B. **Análise comparativa da tensão limite de escoamento de argamassas por meio da técnica de Pashias e reometria rotacional.** In: Revista Matéria, v.21, n.4, pp. 866 – 879, 2016.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MINUSSI, R. B. **Rompimento de barreiras - análise experimental e numérica na previsão de frentes de material hiperconcentrado.** Dissertação (Mestre) - UNESP, Ilha Solteira, 2009.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão: Integração de RCD.** 150 p. Dissertação (Mestre) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

PASHIAS, N., BOGER, D.V., SUMMERS, J., GLENISTER, D.J., **A fifty cent rheometer for yield stress measurement.** Journal of Rheology, v. 40, n. 6, pp. 1179-1189, Nov.-Dez. 1996.

REIS, J. F. A. **Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de abatimento de tronco de cone modificado: estudo de caso.** Dissertação (Mestre) - UNESP, Ilha Solteira, 2008.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX (RILEM). **Recomendations MR 1-21: Testing methods of mortars and rendering.** 1st. ed. France, 1982.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** 168 f. Dissertação (Mestrado em

Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SEQUEIRA, E. M. S. **A influência da adição de filler de calcário em substituição parcial ao cimento em argamassa estabilizada de revestimento de paredes e tetos.** 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Avantis, Balneário Camboriú, 2019.

SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O. **Reologia e trabalhabilidade das argamassas.** In: Elton Bauer. (Org.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. 1ed. Brasília: LEM-UnB e SINDUSCON-DF, 2005, v. 1.

TANNER, R. I. **Engineering rheology.** 2. ed. New York: Oxford University Press Inc., 1988. 559 p. ISBN 0-19-856473-2.