

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALEX SANDRO DA SILVA CORDEIRO
MARCOS VINICIUS SHULTZ

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO COM AGREGADO DE
ORIGEM CERÂMICA

CASCATEL – PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALEX SANDRO DA SILVA CORDEIRO
MARCOS VINICIUS SHULTZ

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO COM AGREGADO DE
ORIGEM CERÂMICA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professora Orientadora: Engenheira Civil
Mestre Andrea Resende Souza.**

CASCADEL - PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

ALEX SANDRO DA SILVA CORDEIRO

MARCOS VINICIUS SHULTZ

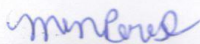
**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO COM AGREGADO DE
ORIGEM CERÂMICA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora Engenharia Civil, Mestre Andrea Resende Souza.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Eng^a. Me. Andrea Resende
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professora Eng^a. Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor Eng. Esp. Ricardo Paganin
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 25 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela saúde e força e por nos ter proporcionado chegar até aqui.

A nossas famílias por toda dedicação, paciência e apoio.

Aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial a nossa orientadora.

A instituição pelas chances que nos permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

RESUMO

Nos setores da Construção Civil a gestão sustentável do resíduo de construção e demolição (RCD) está tornando-se exigência legal. Estão sendo realizadas várias iniciativas para diminuir a geração e aumentar os benefícios econômicos e ambientais através da reutilização desses materiais. Por este motivo, o presente trabalho teve como enfoque avaliar a influência da substituição em 10, 20 e 30 por cento do agregado miúdo natural por agregado cerâmico reciclado, obtido através da moagem e trituração de tijolos cerâmicos, nas propriedades estruturais do concreto: propriedades mecânicas, relação água/cimento, granulometria dos agregados, procedimento de mistura, abatimento, lançamento e adensamento do concreto, formas e dimensões dos corpos de prova. Identificando de forma satisfatória a maioria dos valores das propriedades dos agregados sob as diversas variáveis. Como resultados o concreto com utilização do resíduo cerâmico apresentou maior resistência à compressão nos primeiros 07 dias, uma diferença de 32,96% em relação ao concreto convencional, tendo como justificativa a maior aderência de seus grãos com a pasta de cimento. Já aos 28 dias de idade se observou que o concreto convencional atendia as maiores resistências como esperado e o reciclado através de sua alta porosidade foi tendo a sua resistência prejudicada, cerca de 19,41% em relação ao convencional. De forma geral, o concreto produzido com material reciclado apresentou desempenho inferior aos produzidos com agregado natural.

Palavras-chave: Construção Civil, Resíduos, Substituição, Propriedades, Desempenho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação água/cimento e resistência à compressão.....	19
Figura 2: Abatimento do Concreto.....	29
Figura 3: Gráfico relação tensão x deformação.	31
Figura 4: Trituração e moagem dos tijolos.	33
Figura 5: Camada triturada de tijolos.....	34
Figura 6: Separação dos materiais RCD.	34
Figura 7: Conjunto de peneiras agregado miúdo.	35
Figura 8: Conjunto de peneiras agregado graúdo.....	36
Figura 9: Curvas granulométricas agregados miúdos.	37
Figura 10: Curva granulométrica e de classificação do agregado graúdo britado.	38
Figura 11: Mistura submersa em água para lavagem.	39
Figura 12: Conjunto de peneiras para lavagem.	39
Figura 13: Procedimento de obtenção da massa unitária.	42
Figura 14: Procedimento do picnômetro agregado miúdo.....	46
Figura 15: Retificador de corpos de prova.	51
Figura 16: Prensa hidráulica.....	51
Figura 17: Medida do ensaio de abatimento do tronco de cone.....	58
Figura 18: Resultado do abatimento do tronco de cone.	59
Figura 19: Resistência do concreto aos 7 dias.	60
Figura 20: Resistência do concreto aos 28 dias.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo segundo a NBR 7211.	24
Tabela 2: Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo segundo a NBR 7211.	24
Tabela 3: Análise dos agregados miúdos.	36
Tabela 4: Teor de material pulverulento agregado miúdo natural.	40
Tabela 5: Teor de material pulverulento agregado miúdo reciclado.	40
Tabela 6: Massa unitária agregado miúdo natural.	42
Tabela 7: Índice de vazios do agregado miúdo natural.	42
Tabela 8: Massa unitária agregado miúdo reciclado.	43
Tabela 9: Índice de vazios do agregado miúdo natural.	43
Tabela 10: Massa unitária agregado graúdo natural.	43
Tabela 11: Índice de vazios do agregado miúdo reciclado.	43
Tabela 12: Resultados de massa unitária para os agregados.	43
Tabela 13: Resultados de massa específica aparente para os agregados.	46
Tabela 14: Abatimento do tronco de cone (slump test).	47
Tabela 15: Estimativa do consumo de água e teor de ar.	47
Tabela 16: Resistência à compressão aos 28 dias.	48
Tabela 17: Volume de agregado.	48
Tabela 18: Massa específica do concreto fresco.	49
Tabela 19: Esquema do traço.	49
Tabela 20: Tabela de dosagens.	50
Tabela 21: Traço piloto.	55
Tabela 22: Valores de umidade para os agregados.	56
Tabela 23: Consumo de materiais para o traço convencional corrigido pela umidade.	56
Tabela 24: Consumo de materiais para o traço convencional corrigido pelo <i>Slump Test</i> .	56
Tabela 25: Valores de umidade concretagem traço piloto corrigido.	57
Tabela 26: Consumo dos materiais para o traço com substituição corrigido.	57
Tabela 27: Traços unitários utilizados na pesquisa.	58
Tabela 28: Granulometria do agregado miúdo natural amostras 1 e 2.	69
Tabela 29: Granulometria do agregado miúdo natural amostras 3 e 4.	69
Tabela 30: Granulometria do agregado miúdo reciclado amostras 1 e 2.	69

Tabela 31: Granulometria do agregado graúdo britado amostras 1 e 2.....	70
Tabela 32: Resultados de massa específica agregado miúdo natural.	71
Tabela 33: Resultados de massa específica agregado miúdo reciclado.	71
Tabela 34: Resultados de massa específica agregado graúdo.	72
Tabela 35: Resultados de resistência à compressão.	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Determinação do teor de material pulverulento..	38
Equação 2: Determinação da massa unitária.....	41
Equação 3: Determinação do índice de vazios.....	41
Equação 4: Determinação da massa específica aparente.	44
Equação 5: Determinação da massa específica seca.	44
Equação 6: Determinação da massa específica aparente.	45
Equação 7: Determinação da absorção.....	45
Equação 8: Consumo de cimento.	48
Equação 9: Consumo do agregado graúdo.	48
Equação 10: Consumo de agregado miúdo.	49
Equação 11: Consumo de água calculado.	54
Equação 12: Consumo do agregado graúdo calculado.....	55
Equação 13: Consumo do agregado miúdo calculado.	55

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AOC – Agregado de Origem Cerâmica

NBR – Norma Regulamentadora Brasileira

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
CAPÍTULO 2	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Concreto	16
2.1.1.1 Cimento	16
2.1.1.2 Agregados.....	18
2.1.1.3 Água	18
2.1.2 Propriedades do concreto fresco.....	20
2.1.2.1 Consistência e trabalhabilidade	20
2.1.2.2 Exsudação.....	21
2.1.3 Propriedades do concreto no estado endurecido	21
2.1.3.1 Massa específica.....	22
2.1.3.2 Resistência à compressão	22
2.1.4 Propriedades dos agregados miúdos.....	23
2.1.4.1 Distribuição granulométrica e módulo de finura.....	23
2.1.4.2 Absorção dos agregados reciclados.....	25
2.1.4.3 Resistência mecânica e resistência à abrasão	25
2.1.4.4 Massa específica.....	26
2.1.5 Produção do concreto	26
2.1.5.1 Traço.....	26
2.1.5.2 Mistura.....	27
2.1.5.3 Transporte e lançamento.....	27
2.1.5.4 Adensamento	28
2.1.5.5 Cura do concreto.....	28
2.1.6 Ensaios.....	29

2.1.6.1 Ensaio de consistência – Abatimento do tronco de cone (<i>slump test</i>).....	29
2.1.6.2 Ensaio de resistência à compressão	30
2.1.6.3 Módulo de deformação secante do concreto	30
CAPÍTULO 3.....	32
3.1 METODOLOGIA.....	32
3.1.1 Caracterização dos materiais	32
3.1.1.1 Granulometria.....	34
3.1.1.2 Teor de material pulverulento.....	38
3.1.1.3 Massa unitária e volume de vazios	41
3.1.1.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção de água	44
3.1.1.5 Estudo do traço	46
3.1.2 Procedimentos de ensaio	50
3.1.2.1 Resistência à compressão	50
3.1.3 Procedimento de coleta.....	52
3.1.3.1 Moldagem dos corpos de prova.....	52
3.1.4 Análise dos dados	53
CAPÍTULO 4.....	54
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1.1 Cálculo do traço piloto	54
4.1.1.1 Correção do traço piloto	55
4.1.1.2 Traços Unitários	57
4.1.2 Propriedades no estado fresco	58
4.1.2.1 Consistência.....	58
4.1.3 Propriedades no estado endurecido	60
4.1.3.1 Resistência à compressão	60
CAPÍTULO 5.....	63
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
CAPÍTULO 6.....	65
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA.....	69
APÊNDICE B – RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA.....	71
APÊNDICE C – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	73

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a legislação de resíduos em algumas partes do mundo, um movimento relevante para a gestão sustentável do resíduo de construção e demolição (RCD) está tornando-se exigência legal. Em resposta, os setores da construção civil estão realizando várias iniciativas para diminuir a geração e melhorar sua gestão para aumentar os benefícios econômicos e ambientais, introduzindo um destaque na reciclagem para a reutilização desses materiais (KOULOURIS, 2007).

No Brasil, a resolução do Conama nº 307, propõe as diretrizes necessárias para classificação dos resíduos de construção e demolição, proporcionando um incentivo para que se separem os resíduos cuja fração mineral possa ser aproveitada através do beneficiamento sob a forma de agregado.

Segundo Cabral (2009), os resíduos de construção e demolição constituem em uma grande parte dos resíduos produzidos nas cidades brasileiras, dentre eles, a cerâmica, originário de restos de telhas e tijolos utilizados nas construções.

Muito se têm avançado na utilização dos agregados reciclados de RCD para produção de concretos, argamassas e outros produtos destinados à construção civil. As recomendações e normas técnicas, referentes a esses agregados, sustentam a utilização desses materiais. Alguns estudos recentes comprovam o desempenho dos concretos confeccionados com resíduos cerâmicos em relação aos concretos convencionais com agregados naturais (POON e CHAN, 2006).

De acordo com Khatib (2005), substituindo a areia natural no concreto por agregado fino de tijolo, não causa uma diminuição substancial na resistência em longo prazo mesmo em altos níveis de substituição.

Segundo Poon e Chan (2007), com o uso do tijolo cerâmico triturado fino na produção de blocos de pavimentação de concretos, obteve-se uma diminuição na densidade, na resistência à compressão e aumentou a absorção de água nos blocos.

O presente trabalho tem como enfoque avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino nas propriedades estruturais do concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar as propriedades de um traço de concreto convencional, substituindo a areia natural por agregado reciclado fino cerâmico.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Verificar e comparar a resistência mecânica à compressão de um grupo de corpos de prova com material cerâmico no traço do concreto convencional;
- b) Analisar a trabalhabilidade provocada pelo uso do RCD;
- c) Verificar a influência do agregado na evolução da resistência.

1.3 JUSTIFICATIVA

Devido à dificuldade na obtenção do agregado miúdo de origem natural e o seu crescente custo, fez-se necessária à busca por novas alternativas de matéria prima na construção civil, através da substituição por materiais recicláveis. Já foram realizados estudos para verificar a resistência pela substituição do agente cimentante por agregado de origem cerâmica no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, porém a resistência obtida por meio de ensaios não foi satisfatória devido a sua utilização como agente cimentante, o que motivou o estudo para a substituição deste material cerâmico pelo agregado miúdo.

De acordo com Sbrighi Neto (2005), a falta de jazidas de agregados miúdos, como a areia, principalmente próximas de grandes centros consumidores, ligado a fatores como o aumento da competitividade entre as usinas de concreto e certa conscientização da sociedade

no que repercute a proteção ambiental, aceleraram as pesquisas para a substituição do agregado miúdo, tanto no concreto quanto nas argamassas.

Algumas pesquisas apontam que cerca de 40 a 50% de todo o material reciclado se torna fino, o que aconselha a substituição da areia natural por este material. No entanto, para que um novo produto seja aceito no mercado, em qualquer indústria, é necessário conhecer muito bem o seu comportamento físico, químico e tecnológico (LEITE, 2001).

Este estudo visa a comparação entre a resistência de um traço de concreto convencional e um traço com adição de agregado fino cerâmico, propondo o aumento na utilização de material reciclável na indústria da construção civil.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Pode-se empregar sem prejuízo técnico os RCD cerâmicos como areia fina em concretos, mesmo não existindo uma norma vigente para sua utilização como agregado em elementos de concreto armado?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho delimita-se ao estudo do traço de concretos com agregados britados e reciclados em relação ao desempenho frente a resistência à compressão, segundo a normativa regente.

Foi realizado o rompimento de 30 corpos de prova com material cerâmico e 10 corpos de prova com traço de concreto convencional, tendo os concretos com a substituição de 10, 20 e 30 por cento do agregado natural por RCD, que por sua vez, foi triturado e ensaiado para obter a substituição em massa.

Os ensaios seguiram as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, sendo todos os ensaios realizados no laboratório do Centro Universitário FAG.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo são abordados o conceito de concreto, materiais componentes, propriedades e resistência.

2.1.1 Concreto

Segundo Neville (1997) e Souza (2000), o concreto é o material mais importante e utilizado na construção civil, tendo em sua mistura, cimento, areia, agregados, água e, se necessário, aditivos e outras adições. Sendo ele o material mais produzido no mundo, devido ao seu grande potencial e evolução científica.

Para sua produção, estima-se que o consumo de agregado varie em média de 1 a 8 toneladas por habitante ao ano. Swamy (1986) complementa que o agregado tem um grande potencial de ser substituído por outros materiais alternativos provenientes de resíduos da construção civil.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994),

“Concreto é um material composto por dois ou mais materiais que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.”.

Sendo importante destacar os aditivos e adições, que tendem a proporcionar ao material algumas propriedades especiais.

2.1.1.1 Cimento

Segundo Petrucci (1981), o cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Ele resulta da moagem de um

produto denominado clínquer. Seus componentes principais são: cal, sílica, alumina, óxido de ferro, magnésia, álcalis e sulfatos.

Segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991) existem diversos tipos de cimento, com variadas composições que proporcionam a melhora nas propriedades do concreto, tais como, aumento na resistência, melhora na trabalhabilidade, durabilidade, consistência, entre outros e sua disponibilidade está diretamente ligada às características regionais, as demandas do mercado e suas aplicações. São eles:

- a) CPI (Cimento Portland Comum – NBR 5732:1991): Possui adição somente do gesso, adequado para construções em geral, especialmente quando não são exigidas propriedades especiais do concreto.
- b) CPI-S (Cimento Portland Comum com adição – NBR 5732:1991): Possui pequena adição de escória, pozolana ou filler, são indicados para construções em geral e apresentam melhor resistência ao ataque de sulfatos.
- c) CPII-E (Cimento Portland composto com escória – NBR 11578:1991): Possui mais aditivos, o nível de escória varia entre 6% e 34%. É utilizado em materiais onde a liberação de calor é moderada.
- d) CPII-Z (Cimento Portland composto com pozolana – NBR 11578:1991): O nível de pozolana varia entre 6% e 14%, podendo ainda ter até 10% de filler. É indicado para obras subterrâneas ou em casos onde haja contato direto com a água.
- e) CPII-F (Cimento Portland composto com filler – NBR 11578:1991): É bastante versátil, porém seu uso é indicado para obras que exijam grande resistência.
- f) CPIII (Cimento Portland de alto forno – NBR 5735:1991): Apresenta uma maior durabilidade e é indicado para obras onde o concreto possa sofrer grande agressividade, como viadutos, rodovias e etc.
- g) CPIV (Cimento Portland pozolânico – NBR 5736:1991): Possui maior resistência a compressão e é indicado para obras que venham a sofrer grandes variações de temperatura.
- h) CPV-ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial – NBR 5733:1991): Este em seu primeiro dia pode atingir uma resistência de 26 Mpa, é muito utilizado em indústrias na produção de artefatos de cimento.
- i) CPRS (Cimento Portland resistente a sulfatos – NBR 5737:1992): É indicado para obras de esgoto, plantas industriais e mares, pois concede resistência aos meios agressivos sulfatados.

j) CPBC (Cimento Portland com baixo calor de hidratação – NBR 13116:1994): É resistente a altas temperaturas, evitando o aparecimento de fissuras, aumentando a durabilidade da peça estrutural a qual foi empregado.

k) CPB (Cimento Portland branco – NBR 12989:1993): Sua coloração é branca devido ao baixo teor de manganês, óxido de ferro em sua composição, e pelo processo de moagem. Pode ser estrutural o qual é destinado para fins arquitetônicos e não estrutural o qual serve de rejunte para cerâmicas.

2.1.1.2 Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volumes definidos, geralmente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia (BAUER, 2001).

Os agregados desempenham um importante papel nas argamassas de concreto, tanto quanto o ponto de vista econômico quanto o técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerantes (PETRUCCI, 1981).

Os agregados podem ser classificados quanto a sua origem, quanto ao seu peso ou quanto a sua dimensão, conforme a NBR 7211 Agregados para concreto – Especificações (ABNT, 2005), sendo eles:

l) Agregados miúdos:, são areias naturais quartzosas ou artificiais, resultantes do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm.

m) Agregados graúdos:, são pedregulhos naturais ou pedras britadas provenientes do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo superior a 4,8mm.

2.1.1.3 Água

Segundo Metha e Monteiro (1994), a classificação da água presente na pasta de cimento hidratada é baseada no grau de dificuldade com que pode ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção:

- Água capilar ou água livre (presente nos vazios maiores).

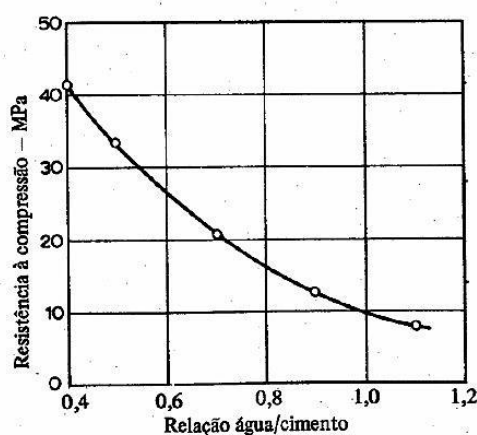
- Água adsorvida (que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada).
- Água interlamelar (associada com a estrutura do C-S-H).
- Água quimicamente combinada (aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento).

A relação entre a quantidade de água acrescentada e a quantidade de cimento utilizado na produção do concreto é muito importante para determinar a sua resistência final.

Abrams (1919) produziu um trabalho onde apresentava que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função do fator água/cimento da mistura (ARAÚJO, 2000).

A Figura 1 mostra a relação água e cimento proposta por Abrams (1919).

Figura 1: Relação água/cimento e resistência à compressão.



Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

A relação água/cimento, de acordo com Neville (1997), determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Logo, nota-se que a relação água/cimento tem grande influência, junto com o grau de adensamento no volume de vazios do concreto.

Neville (1997) diz ainda que apesar da constituição porosa do concreto, ele não é capaz de preencher os vazios da pasta de cimento e nem do agregado, tornando-o desta forma permeável. Por consequência, um percentual elevado de índices de vazio ocasiona na diminuição da durabilidade e resistência do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) existem microfissuras na zona de transição das partículas do agregado e a argamassa de cimento ocasionando na perda da estanqueidade pela

conexão interna dos vazios. Por estes ocorre a infiltração da água e outros agentes que são agressivos ao concreto, tendo a corrosão das armaduras. Concluindo assim, que quanto mais permeável for o concreto, maiores serão as ocorrências na peça estrutural por corrosão.

A água de amassamento é influenciada de acordo com o teor de partículas finas nas misturas de concreto, provocando assim uma diminuição da resistência mecânica no concreto (NEVILLE, 1997; MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo WITTMAN (1976) a formação de uma tensão capilar alta pela água de assentamento é um fator importante na retração plástica.

2.1.2 Propriedades do concreto fresco

Segundo Alves (1987), as principais propriedades do concreto fresco são: a segregação, a homogeneidade e a trabalhabilidade, sendo que a segregação e a homogeneidade fazem parte da propriedade da trabalhabilidade.

Aïtcin (2000) dá destaque a duas razões importantes para ter o controle das propriedades do concreto no estado fresco, apresentando um melhor desempenho, ele deve ser lançado com facilidade e as suas propriedades devem ter um controle rigoroso.

2.1.2.1 Consistência e trabalhabilidade

Petrucci (1981) resume trabalhabilidade como a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor vocação para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade.

Já à consistência para Petrucci (1981), reserva o grau de umidade do concreto, relacionado com o grau de plasticidade da massa, significando que maior ou menor será a facilidade de deformar-se sobre a ação das cargas. Sendo que a consistência é um dos principais fatores que afetam a trabalhabilidade.

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade são:

n) Fatores internos

- Consistência: mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes.
- Proporção entre cimento e agregado: traço.

- Proporção entre agregado miúdo e graúdo dado pelo ensaio de granulometria.

o) Fatores externos

- Tipo de mistura: para fundações, pisos, pilares, vigas, lajes, produção de pré-moldados em geral.
- Tipo de adensamento obtido por métodos manuais: socamento ou apiloamento, ou por métodos mecânicos: vibração ou centrifugação.
- Tipo de transporte: caminhões betoneiras.

2.1.2.2 Exsudação

Entende-se por exsudação a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém-lançado. É motivada pela maior impossibilidade que apresentam os materiais constituintes de manter a água de mistura dispersa na massa. Como consequência, a parte superior do concreto torna-se excessivamente úmida, tendendo a ser um concreto mais poroso e menos resistente, que, além disso, por fazer com que o concreto se disperse pela percolação da água (PETRUCCI, 1981).

Segundo Petrucci (1981), outro efeito da exsudação consiste na acumulação de água em filmes sobre as barras metálicas na armadura, diminuindo a aderência. A quantidade de água de exsudação pode ser medida pelo ensaio ASTM C-232 Bleeding of concrete (ASTM, 1971).

2.1.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), após a pega do concreto o mesmo é considerado endurecido e algumas das suas propriedades são: Resistência mecânica, englobando nesta a resistência à compressão, tração, flexão e cisalhamento. O fator água/cimento e a porosidade influenciam também, pois, são inversamente proporcionais à resistência, sendo afetada pelo adensamento, umidade entre outros fatores.

Com o aumento da idade do concreto a sua resistência à abrasão, agressividade do ambiente ou qualquer outro tipo de deterioração aumentam. A impermeabilidade também afeta a sua vida útil positivamente, pois impede o acesso de fluídos ou outros agentes em seu interior,

tendo por influencia a porosidade da pasta, a agressão química de sulfatos e a retração a qual possibilita através de fissuras a percolação da água e a sua aparência também influenciam (ARAÚJO, 2000).

2.1.3.1 Massa específica

A massa específica é considerada como a massa do material incluindo os poros por unidade de volume (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Tem grande influência nas propriedades do concreto, pois, dependendo da condição do agregado, estando ele com superfície seca ou úmida, pode absorver parte da água durante a mistura o que decorreria na diminuição da trabalhabilidade do concreto entre outros fatores (ANDRIOLO, 1986).

Os valores dessas massas variam entre 2.000 kg/m^3 a 2.800 kg/m^3 . Quando a massa específica real não for conhecida, usa-se o valor de 2.400 kg/m^3 para o concreto simples e de 2.500 kg/m^3 para o concreto armado. Para concretos leves a massa específica seca deve estar abaixo de 2000 kg/m^3 e para concreto pesados ou densos acima de 2800 kg/m^3 , sendo desta forma classificados por sua massa específica seca, classe de resistência e classe de consistência (ABNT NM 52, 2009).

2.1.3.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão axial do concreto é a propriedade que é mais levada em conta pelos engenheiros projetistas (SÁ, 2006). A resistência à compressão influencia as propriedades do concreto endurecido e dá uma noção da qualidade do concreto e está relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada.

Propriedades como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência às intempéries são diretamente relacionadas com a resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997). No concreto, a resistência à compressão é obtida a partir da tensão necessária para causar a ruptura, conhecida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Helene e Andrade (2007) o valor mínimo da resistência à compressão deve ser de 20 MPa para concreto armado e 25 MPa para concreto protendido. Também, pode-se utilizar o valor de 15 MPa, porém, apenas em concreto magro e em obras provisórias.

A qualidade do concreto depende da relação água/cimento e do grau de hidratação. É através da evolução da hidratação do cimento que a idade influencia na resistência à compressão (GIAMUSSO, 1992).

2.1.4 Propriedades dos agregados miúdos

Os agregados graúdos e miúdos devem ser uniformemente graduados. Granulometrias descontínuas devem ser analisadas de acordo com as condições de utilização. Os agregados arredondados possibilitam maior plasticidade para o mesmo teor da relação água/mistura seca, do que os agregados com pontas angulares, lamelares ou aciculares (SOBRAL, 1977).

Segundo Neville (1997), a forma e textura superficial dos agregados miúdos, têm efeito sobre a demanda de água na mistura, já a forma do agregado graúdo tem um efeito significativo sobre a trabalhabilidade do concreto.

A qualidade do concreto dependerá da relação entre cimento e agregado, a divisão do agregado em miúdo e graúdo e, principalmente, a relação entre a água empregada e os materiais secos.

Segundo Petrucci (1981), à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos grãos dos agregados podem definir e influenciar nas características de um concreto.

Como todo agregado natural, os agregados reciclados também necessitam avaliações para sua utilização em concretos ou argamassas, em termos de sua granulométrica, absorção de água, abrasão, etc.

2.1.4.1 Distribuição granulométrica e módulo de finura

Segundo Topçu (2007), a composição granulométrica dos agregados reciclados finos deve atender as mesmas exigências que os agregados de origem naturais. Sendo uma propriedade muito importante por influenciar na trabalhabilidade, resistência, absorção de água e sua permeabilidade.

Segundo Lima (1999), a melhor maneira para a utilização em concretos é o peneiramento, devido à variação na sua composição granulométrica. A norma da ABNT NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo segundo a NBR 7211.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTAS 1. O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. 2. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. 3. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: Tabela 2 – ABNT, 2005.

O teor de partículas finas pode influenciar bastante na quantidade de água necessária para a mistura do concreto, o que pode provocar uma diminuição em sua resistência, e também reduzir a sua resistência ao desgaste, principalmente por abrasão (NEVILLE, 1997; MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A norma da NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece os limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo conforme o seu diâmetro na Tabela 2.

Tabela 2: Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo segundo a NBR 7211.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
9,5 mm	2 – 15 ²	80 ² – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ² – 65	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ² – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-
1. Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensão do agregado graúdo 2. Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.					

Fonte: Tabela 6 – ABNT, 2005.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) também estabelece que o módulo de finura seja a soma das porcentagens acumuladas em todas as peneiras da série normal, dividida por 100. Indicando que quanto menor for o valor obtido, menor será o diâmetro das partículas e vice e

versa. O material pulverulento é classificado pela NBR 46 (ABNT, 2003) como material fino que passa pela peneira de abertura 0,075mm nos agregados miúdo e graúdo. O excesso deste material prejudica na aderência entre a pasta e a argamassa e aumenta o consumo de água, ocasionando em diminuição da resistência e na retração do concreto.

2.1.4.2 Absorção dos agregados reciclados

É muito importante ressaltar a absorção de água dos agregados quando se estuda o uso em concretos, pois está diretamente ligada com a relação a/c final das misturas. Se a absorção não for considerada pode afetar a relação a/c com uma diminuição substancial de trabalhabilidade do material, deixando assim o concreto seco.

De acordo com TAM (2006), o agregado fino reciclado apresenta uma maior absorção de água que o agregado natural, aproximadamente 3 a 10% para o agregado reciclado e 1 a 5% para os naturais.

Devenny e Khalaf (1999), encontraram uma taxa de absorção de agregados de origem cerâmica britados variando entre 5 a 15% em relação a massa do material seco, necessitando assim uma compensação de água para que não afete em sua resistência.

2.1.4.3 Resistência mecânica e resistência à abrasão

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a resistência mecânica de um material diminui conforme sua porosidade aumenta, podendo assim esperar uma grande variação nas propriedades mecânicas, reduzindo a atratividade dos agregados e implicando o um aumento na dosagem e consumo do cimento do concreto.

A variação na porosidade também poderá afetar o seu comportamento no estado fresco, juntamente com esses agregados (POON, 2006). Cabe também ressaltar que a resistência do agregado não será a mesma devido ao processo de britagem do agregado irá passar, provocando assim possíveis fissuras no agregado.

2.1.4.4 Massa específica

A massa específica dos agregados reciclados é geralmente menor que as do agregado natural. Bazzuco (1999) observou que o valor da massa específica dos agregados são de 5 a 10% menores que os naturais, podendo variar um pouco de acordo com sua origem e granulometria. Os agregados são classificados pela NBR 7211 (ABNT, 2005) como agregados leves que possuem massa específica menor que 2000 kg/m^3 , agregados normais com massa específica entre 2000 kg/m^3 e 3000 kg/m^3 e agregados pesados que possuam massa específica acima de 3000 kg/m^3 .

2.1.5 Produção do concreto

2.1.5.1 Traço

O proporcionamento dos materiais do concreto, também conhecido por dosagem do concreto, é um processo através do qual é obtida a melhor proporção entre cimento, agregados, água e aditivos para produzir um concreto que atenda a certas especificações prévias (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o traço deverá ser calculado com a utilização do abatimento do tronco de cone, que será obtido através da condição de trabalho e o tipo de construção, sendo posteriormente escolhida a dimensão máxima característica do agregado graúdo em função da taxa de armaduras.

A estimativa do consumo aproximado de água e o teor de ar requerido serão encontrados em função do abatimento do tronco de cone e da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Desta forma, o fator água/cimento, deverá ser encontrado utilizando o valor em função do abatimento do tronco de cone e a dimensão máxima característica do agregado graúdo e a resistência desejada interpolando os valores, se necessário (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.1.5.2 Mistura

A mistura é o processo de fabricação do concreto, possui uma massa homogênea obtida pelo agrupamento dos agregados, aglomerantes, adionantes, aditivos e água. Tal mistura pode ocorrer por força ou forma manual e ou mecânica (BAUER, 2000).

É o processo que homogênea os componentes do concreto. Cada tipo de mistura pode exigir um transporte, lançamento e adensamento diferentes, tendo a trabalhabilidade dentro de alguns limites para evitar a segregação, ela pode ocorrer de forma manual ou mecânica (SOBRAL, 1977).

De acordo com Araújo (2000), a trabalhabilidade possui características de não apenas ser inerente ao material, mais também envolve a obra em que a mistura será empregada, devendo-se pensar no seu transporte até o seu adensamento. A relação entre a quantidade de material e a quantidade de água determinará uma dosagem de concreto com uma trabalhabilidade específica para esta mistura, mais que ainda atenda as propriedades do concreto requeridas.

2.1.5.3 Transporte e lançamento

Segundo a NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto - Procedimentos (ABNT, 2004), o sistema de transporte deve permitir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários, se estes forem necessários, deve-se ter o cuidado para não ocorrer à segregação na mistura.

De acordo com Bauer (2000), o sistema de transporte do concreto ao local de sua aplicação, depende do tipo, da localização e do volume da obra. Em diversas ocasiões, a trabalhabilidade do concreto a ser utilizado depende do transporte.

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004) o transporte pode correr de forma manual ou mecânica, na horizontal, vertical ou por bombeamento, sendo necessário o uso de aditivos dependendo do tipo de mistura, podendo ocorrer à segregação dos materiais, hidratação do concreto devido às condições do ambiente, temperatura e ou a evaporação da água. Recomenda-se que o intervalo de tempo entre o instante em que água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não ultrapasse 150 min. Durante o lançamento do concreto, deve se evitar que ocorra a separação do material, o tempo máximo deverá ser inferior a 30 min. A altura de lançamento não deverá exceder a 2m ou até um pé-direito de 2,5 a 2,8m.

Contudo, poderão ser utilizados direcionadores de fluxo para evitar o choque com as fôrmas. Não é permitido o lançamento do concreto após o início de sua pega, o lançamento deve ser executado em seguida da mistura.

2.1.5.4 Adensamento

Metha e Monteiro (1994) relatam que o adensamento é definido como o processo de moldagem do concreto fresco nas fôrmas com o objetivo de eliminar o ar retido. Essa operação pode ser realizada manualmente, através do socamento de haste ou mecanicamente, com uso de vibradores.

A Norma NBR 14931 (ABNT, 2004), diz que se deve evitar a vibração da armadura para que não ocorra a falta de aderência. Durante o adensamento, não deverá ocorrer a segregação das matérias, tomando os devidos cuidados para que isso não ocorra.

2.1.5.5 Cura do concreto

Segundo Neville (1997), a cura é denominada a partir dos procedimentos para promover a hidratação do cimento e é dada pelo controle da temperatura e a saída e entrada de umidade do concreto. A cura do concreto evita a perda de umidade e controla a temperatura até atingir o nível de resistência desejado (METHA e MONTEIRO, 1994).

Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2007) aconselha que a cura ocorra através de aspersão de água sobre a superfície do concreto, através da molhagem das fôrmas, pelo recobrimento com areia, serragem, através de membranas de cura, submersão ou cura a vapor. Tendo o controle rigoroso da cura, o aparecimento de poros e fissuras irá diminuir e a resistência aumentará (GIAMMUSSO, 1992).

2.1.6 Ensaio

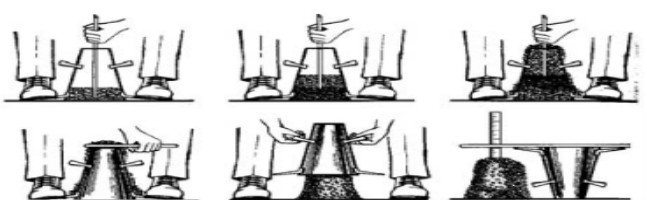
2.1.6.1 Ensaio de consistência – Abatimento do tronco de cone (*slump test*)

De acordo com o manual da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, ANO), devido à simplicidade do ensaio de abatimento (*slump test*), o controle de recebimento do concreto na obra se tornou essencial, mas para que isso seja devidamente cumprido, é importante executá-lo de forma correta, seguindo os procedimentos:

- 1) A amostra de concreto deverá ser coletada depois de descarregar 0,5 m³ de concreto do caminhão e em volume aproximado de 30 litros.
- 2) O cone será colocado sobre a placa metálica bem nivelada e tendo os seus pés sobre as abas inferiores do cone.
- 3) O cone deverá ser preenchido em três camadas iguais e aplicado 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada.
- 4) O adensamento ocorrerá junto à base, de forma que a haste de socamento penetre em toda a espessura.
- 5) No adensamento das camadas restantes, a haste deve penetrar até ser atingida a camada inferior adjacente.
- 6) Após a compactação da última camada, deverá ser retirado o excesso de concreto e realizar o alisamento da superfície.
- 7) O cone deverá ser retirado com cuidado.
- 8) A haste deverá ser colocada sobre o cone invertido e realizada a medição da distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto.

Conforme disposto pela Figura 2.

Figura 2: Abatimento do concreto.



Fonte: Araújo, 2000.

2.1.6.2 Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão simples é uma característica mecânica com elevada importância. De acordo com Bauer (2000), a resistência à compressão axial é a propriedade mais importante do concreto.

Para obtê-la em um lote de concreto, deverão ser moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (ABNT, 2008), os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. (ABNT, 2007),

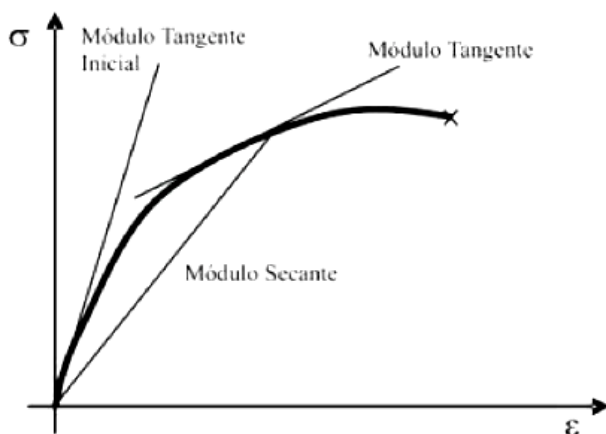
Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008), os moldes de corpos de prova cilíndricos devem possuir altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro poderá ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametrais têm tolerância de 1% e a altura, 2%. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde.

A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Nenhum ajuste deve ser efetuado nos controles da máquina, quando o corpo-de-prova estiver se deformando rapidamente ao se aproximar de sua ruptura. (ABNT - NBR 5739, 2007).

2.1.6.3 Módulo de deformação secante do concreto

Conforme Mehta e Monteiro (1994), as deformações no concreto ocorrem como um resultado da resposta do material à carga externa e ao meio ambiente. O módulo de deformação estático para um material sob tração ou compressão é dado pela declividade da curva tensão pela deformação, para concreto sob carregamento uniaxial. Uma vez que a curva para o concreto não é linear e há três módulos para cálculo: módulo tangente, secante e corda, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3: Gráfico relação tensão x deformação.



Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

Para este estudo se utilizará o modulo secante, o qual é dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva correspondendo-a 30 por cento da tensão da carga de ruptura (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O ensaio se dará pela NBR 8522 – Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama tensão x deformação – Método de Ensaio (ABNT, 2008) onde o módulo de elasticidade do concreto será encontrado pela declividade da curva tensão sobre a deformação que ocorre devido a um carregamento uniaxial.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Através de uma análise laboratorial foram feitos comparativos da resistência à compressão do concreto, utilizando resíduos de tijolos triturados no traço por substituição.

Foi realizado o rompimento de 30 corpos de prova com material cerâmico e 10 corpos de prova com traço de concreto convencional, tendo os concretos com a substituição de 10, 20 e 30 por cento do agregado natural por RCD, que por sua vez, deverá ser triturado e ensaiado para obter a granulometria.

Foram produzidos 40 corpos de prova de diâmetro 10 cm e altura de 20 cm, com agregado miúdo natural e com a substituição por agregado de origem cerâmica no traço do concreto, no campus de um Centro Universitário localizado em Cascavel – PR.

Foram feitos rompimentos em duas etapas para provar resistência à compressão e para obtenção do módulo de elasticidade pela curva secante, 20 corpos de provas aos 7 dias e 20 corpos de prova aos 28 dias.

3.1.1 Caracterização dos materiais

Para caracterizar os materiais utilizados na pesquisa foram realizados os ensaios de:

- Composição granulométrica e módulo de finura segundo ABNT NM 248 (2003);
- Teor do material pulverulento usou-se a ABNT NM 46 (2006);
- Massa unitária foi utilizada a ABNT NM 45(2006);
- Massa específica e aparente dos agregados utilizou-se a ABNT NM 52 (2002) e NM 53(2003).

Os materiais empregados na dosagem do concreto foram: Areia média com origem natural, preparada para o uso e submetida apenas à lavagem; Brita 0 com origem de britador sobre processo de cominuição para se adequar os diâmetros ao uso; Agregado cerâmico com

origem natural sob processo de industrialização; Água decorrente da distribuição municipal sem o controle de suas propriedades ou pH e o Cimento utilizado foi o CPII-E (Cimento Portland composto com escória), utilizado em materiais onde a liberação de calor é moderada e possui resistência de 32 MPa.

Para obtenção do agregado cerâmico foram comprados 500 tijolos com seção de 9x14x19cm em uma loja localizada em Cascavel – PR. Os tijolos passaram pelo procedimento de trituração até que chegasse a um diâmetro dos grãos menores que 4,8 mm, pois a finalidade era substituí-lo em porcentagens pelo agregado miúdo.

O procedimento ocorreu de forma manual onde primeiramente foi realizada a compactação dos tijolos em um montante e a quebra dos tijolos se deu por camadas, dos pedaços maiores para os menores com a utilização do compactador de solo (Soquete), conforme Figura 4.

Figura 4: Trituração e moagem dos tijolos.



Fonte: Autores, 2018.

Após esse processo as camadas foram misturadas e espalhadas para que a compactação ocorresse de forma linearmente, conforme Figura 5. Este procedimento foi realizado diversas vezes até que o diâmetro estivesse visualmente próximo aos 4,8 mm.

Figura 5: Camada triturada de tijolos.



Fonte: Autores, 2018.

Após o procedimento realizado, os materiais obtidos foram acondicionados em caixas de papelão para serem transportadas até o Centro Universitário situado em Cascavel-PR, onde foram ensaiadas. Para que as amostras estivessem com diâmetros dos grãos uniformes, foi necessário passar o material pela peneira com abertura de 4,8mm, conforme Figura 6.

Figura 6: Separação dos materiais RCD.



Fonte: Autores, 2018.

3.1.1.1 Granulometria

A composição granulométrica dos agregados foi obtida através do agitação mecânico de uma série de peneiras, com a amostra nelas, realizada conforme as normas NM 248 (ABNT, 2001) e NBR 7211 (ABNT, 2015), que define a quantidade de material a ser

usado, após a agitação foi obtido os percentuais que ficaram retidos em cada peneira, com isso pode ser elaborado a curva granulométrica e determinado suas características físicas.

O módulo de finura foi obtido com a soma dos percentuais acumulados em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

Seguindo os procedimentos estipulados pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) foi realizado o procedimento primeiramente com a secagem de uma amostra de agregado miúdo com peso de 1 kg em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por um período de 24 horas. Após, houve o seu resfriamento em temperatura ambiente por um período de duas horas e então se utilizou um conjunto de peneiras, previamente limpas e providas com um fundo, encaixadas de forma crescente com tamanhos de abertura de $150\mu\text{m}$, $300\mu\text{m}$, $600\mu\text{m}$, 1,18 mm, 2,36 mm e a 4,75 mm, conforme Figura 7.

Figura 7: Conjunto de peneiras agregado miúdo.



Fonte: Autores, 2018.

A amostra foi colocada sobre a peneira superior do conjunto e sobre a mesma uma tampa e então o conjunto foi levado a um agitador mecânico o qual sofreu agitação por um período de 10 min, permitindo a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos dos grãos.

Após agitação, o conjunto foi desmontado e as porções de cada peneira foram pesadas, houve o auxílio de uma escova de aço para realizar a limpeza das telas das peneiras que foram escovadas em ambos os lados, sendo o material interno tido como retido e o externo como passante. Então foi possível determinar a massa total retida em cada uma das peneiras, este procedimento foi realizado para os agregados miúdos de origem natural e de origem cerâmica, onde cada material foi classificado com base no resultado médio de quatro amostras para o

agregado natural e duas para o agregado reciclado. Os valores dos ensaios estão no Apêndice A, na Tabela 28 e na Tabela 29 para o agregado natural e na Tabela 30 para reciclado.

O módulo de finura foi obtido através da soma das porcentagens acumuladas dividindo esta soma por cem conforme NBR 7211 (ABNT, 2005) NBR 6502 – Terminologia – Rochas e Solos (ABNT, 1992).

Para o ensaio do agregado graúdo foi pesado uma amostra de 5 kg, a qual foi seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até que sua massa se tornasse constante, a seguir foi resfriada em temperatura ambiente. Durante o tempo de esfriamento, foi montado o conjunto de peneiras com aberturas em ordem decrescente de 19 mm, 12,5 mm, 9,5mm, 6,3mm, 4,5 mm, conforme Figura 8.

Figura 8: Conjunto de peneiras agregado graúdo.



Fonte: Autores, 2018.

Após a montagem, a amostra seca e resfriada foi disposta sobre a peneira superior e montada sobre o agitador mecânico, onde ficou por 5 min. Sobre vibração constante. Posteriormente, ocorreu a desmontagem das peneiras e suas massas retidas foram pesadas, os resultados são apresentados na Tabela 31 do Apêndice A.

Os resultados para os agregados são mostrados na Tabela 3.

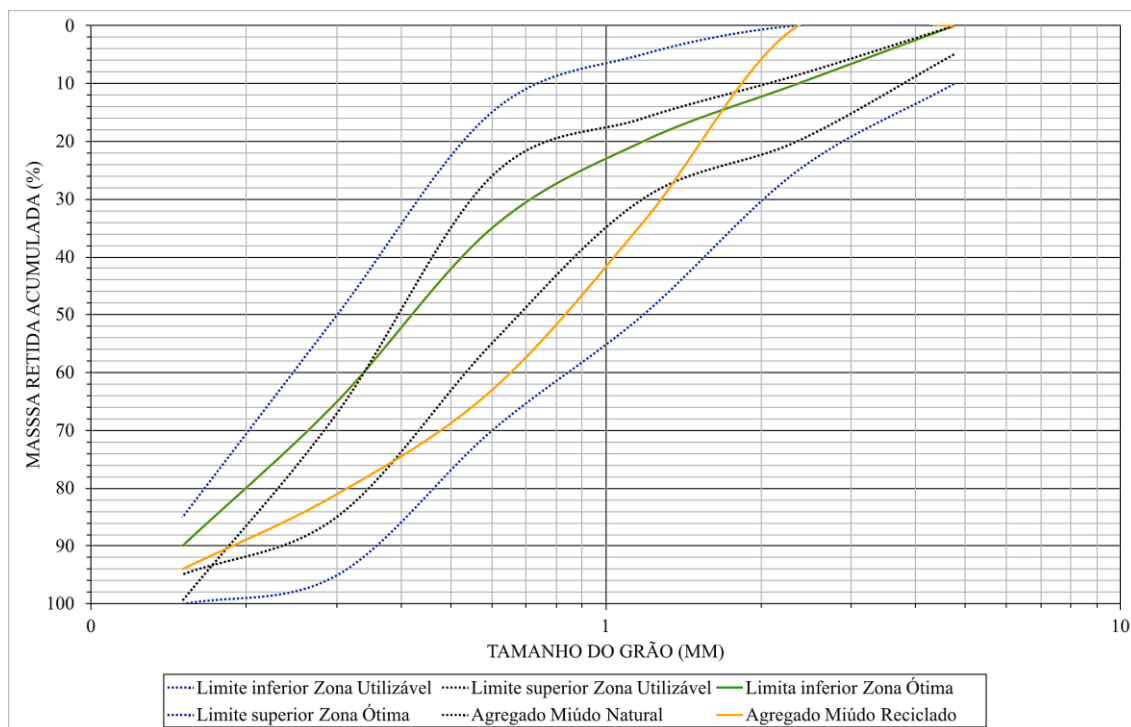
Tabela 3: Análise dos agregados miúdos.

Característica	Agregado natural	Agregado reciclado	Agregado britado
$D_{\text{máx}}$	4,5 mm	4,5 mm	9,5 mm
D_{min}	0,15 mm	0,15 mm	2,75 mm
Módulo de finura	3,16	3,72	3,71
Classificação	Areia Média	Areia Grossa	4,75/12,5 mm – Brita 0 - Pedrisco

Fonte: Autores, 2018.

A Figura 9 apresenta a curva granulométrica dos agregados miúdos em relação aos limites prescritos pela NBR 7211 (ABNT, 2005) verificasse que o agregado natural se adequa as zona Ótima da norma enquanto que agregado reciclado está dentro da zona Utilizável.

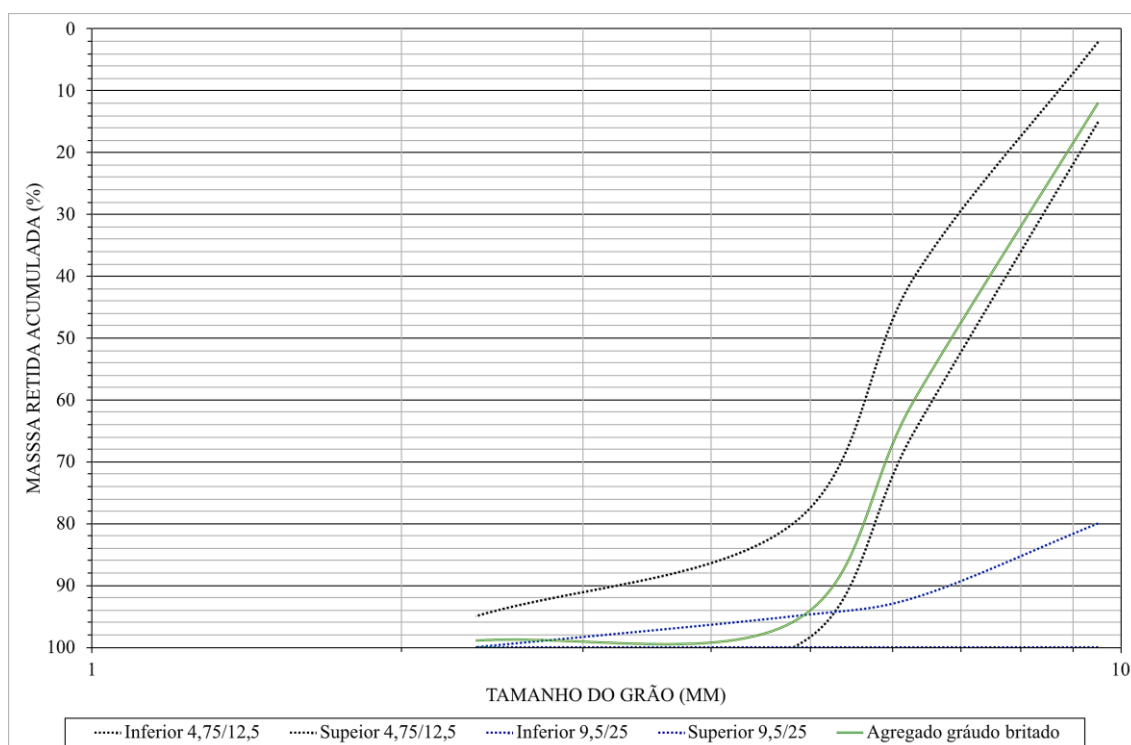
Figura 9: Curvas granulométricas agregados miúdos.



Fonte: Autores, 2018.

A Figura 10 apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo e as faixas de classificação da NBR 7211 (ABNT, 2015).

Figura 10: Curva granulométrica e de classificação do agregado gráudo britado.



Fonte: Autores, 2018.

Verifica-se na Figura 10 que o agregado realmente se encaixa dentro da curva de agregado 4,75/12,5 ou seja agregado do tipo Brita 0.

3.1.1.2 Teor de material pulverulento

Para determinação do teor de material pulverulento segundo ABNT NM 46 (2003), foi realizada uma lavagem com uma porção de agregado, retirando a água da lavagem com uma peneira de malha 0,075mm, para que esse material pulverulento fosse eliminado juntamente com a água, após a lavagem o material foi levado à estufa. O resultado foi obtido através da média de duas determinações mais próximas segundo a Equação 1.

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} 100 \quad (1)$$

Onde:

m: é a porcentagem de material mais fino que a peneira de 75 μm por lavagem;

m_i : é a massa original da amostra seca; em gramas;

m_f : é a massa da amostra seca após a lavagem. em gramas;

Para determinação do teor de material pulverulento foi utilizado a NBR NM 46 (ABNT, 2006), para a realização deste ensaio foi adotado o Procedimento “A” da norma que especifica a que a lavagem do material deve ser com água.

O ensaio se iniciou com a secagem de uma amostra de agregado miúdo com peso de em estufa a $105\pm 5^\circ\text{C}$ até que sua massa se tornasse constante então se anotou a sua massa (1kg), foi colocada em um recipiente e adicionado água até encobri-la, conforme Figura 11.

Figura 11: Mistura submersa em água para lavagem.



Fonte: Autores, 2018.

Logo em seguida ocorreu a sua agitação para que houvesse a separação das partículas, imediatamente esta água contendo a amostra foi passada nas peneiras com abertura de 1,18 e 0,075 mm, conforme Figura 12.

Figura 12: Conjunto de peneiras para lavagem.



Fonte: Autores, 2018.

Foram adicionadas mais quantidades de água ao recipiente até que a água da lavagem ficou clara. A seguir houve a agitação, então todo o material retido nas peneiras foi tomado por um fluxo de água contínuo.

A amostra foi leva-la por sua vez novamente a estufa a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ até que sua massa se tornasse constante então foi anotado o seu peso. Foi utilizado para cálculo a Equação 1 da (p.37), onde a massa úmida foi subtraída pela seca e o resultado dividido pela massa úmida, o resultado se dará em porcentagem. O procedimento foi realizado para as amostras de agregado miúdo apenas.

Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Teor de material pulverulento agregado miúdo natural.

Amostra 1	Mi	1000g	M = 2,0%
	Mf	980g	
Amostra 2	Mi	1000g	M = 2,8%
	Mf	972g	
Amostra 3	Mi	1000g	M = 1,9%
	Mf	981g	
Amostra 4	Mi	1000g	M = 1,8%
	Mf	982g	

Fonte: Autores, 2018.

A média das amostras 1 e 2 foi de 2,4%, como a porcentagem não deve ultrapassar os 2% conforme norma, por este motivo a amostra dois foi descartada Pois o excesso deste material prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa, aumentando o consumo de água devido à alta superfície específica, acarretando em retração e diminuição da resistência de concretos e argamassas.

Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Teor de material pulverulento agregado miúdo reciclado.

Amostra 1	Mi	1000g	M = 1,0%
	Mf	990g	
Amostra 2	Mi	1000g	M = 1,3 %
	Mf	987g	

Fonte: Autores, 2018.

A média do teor ficou em 1,15%, dentro da norma. Da mesma forma que ocorreu com a areia o excesso deste material prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa.

3.1.1.3 Massa unitária e volume de vazios

Para a determinação da massa unitária, usou-se a relação entre a massa do agregado seca em estufa (100°C a 110°C) lançada no recipiente de maneira que não haja compactação da amostra de acordo com o estabelecido na norma da ABNT, NBR NM 45:2006 e o volume desse recipiente, a qual deverá ser utilizada para realizar os ensaios e os resultados serão encontrados a partir da Equação 2.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{ap} : é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} : é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r : é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V : é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

Com a obtenção massa unitária do agregado pode-se calcular o índice de vazios de acordo com a Equação 3

$$E_v = \frac{100 [(d_1 p_w) - \rho_a]}{d_1 p_w} \quad (3)$$

Onde:

E_v : é o índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem;

d_1 : é a massa específica relativa do agregado seco;

ρ_w : é a massa específica da água, em quilogramas por metro cúbico;

ρ_a : é a massa unitária média do agregado, em quilogramas por metro cúbico.

Para a determinação da massa unitária e o volume de vazios foram seguidos as orientações e os parâmetros da NBR NM 45 (ABNT, 2006), para procedimentos de ensaio foi utilizado o Método “C” – empregado para determinar a massa unitária no estado solto da amostra.

As amostras foram secas em estufa à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até que sua massa se tornasse constante, a seguir foi resfriada em temperatura ambiente, então foi registrado a massa do recipiente vazio, logo em seguida foi cheio até que transbordasse (Figura 13), utilizando uma pá a mais ou menos 50 mm da borda do mesmo para que de uma maneira que não houvesse compactação.

Figura 13: Procedimento de obtenção da massa unitária.



Fonte: Autores, 2018.

Posteriormente, a camada foi nivelada e pesada junto com o recipiente. Para o cálculo utilizou-se a temperatura da água em $26,7^\circ\text{C}$ e a densidade da água de $996,59 \text{ kg/m}^3$, o recipiente possuía altura de $0,052\text{m}$, diâmetro de $0,2013\text{m}$ e volume de $0,00185\text{m}^3$, com estes obteve-se os resultados da Tabela 6 com base na Equação 2.

Tabela 6: Massa unitária agregado miúdo natural.

Amostra 1	$1145,94 \text{ Kg/m}^3$
Amostra 2	$1162,16 \text{ Kg/m}^3$

Fonte: Autores, 2018.

Com a obtenção massa unitária do agregado pode-se calcular o índice de vazios das amostras do agregado natural conforme mostra a Equação 3 e mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Índice de vazios do agregado miúdo natural.

Amostra 1	99,95%
Amostra 2	99,95%

Fonte: Autores, 2018.

Para o agregado miúdo reciclado utilizou-se a temp. da água em $26,7^\circ\text{C}$ e a densidade da água = $996,59 \text{ kg/m}^3$, o recipiente possuía altura de $0,052\text{m}$, diâmetro de $0,2013\text{m}$ e volume de $0,00185\text{m}^3$, com a utilização da Equação 2 obteve-se os seguintes resultados, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Massa unitária agregado miúdo reciclado.

Amostra 1	1343,44 Kg/m ³
Amostra 2	1365,04 Kg/m ³

Fonte: Autores, 2018.

Com a obtenção massa unitária do agregado pode-se calcular o índice de vazios das amostras do agregado natural conforme mostra a Equação 3 e mostrados na Tabela 7.

Tabela 9: Índice de vazios do agregado miúdo natural.

Amostra 1	99,95%
Amostra 2	99,95%

Fonte: Autores, 2018.

Da mesma forma que ocorreu com o agregado miúdo, foram seguidos as orientações e os parâmetros da NBR NM 45 (ABNT, 2006) para procedimentos de ensaio foi utilizado o Método “C” – empregado para determinar a massa unitária no estado solto da amostra.

Posteriormente, a camada foi nivelada e pesada junto com o recipiente. Para o cálculo utilizou-se a temp. da água em 26,7°C e a densidade da água = 996,59 kg/m³, o recipiente possuía altura de 0,052m, diâmetro de 0,2013m e volume de 0,00185m³, com estes obteve-se os resultados da Tabela 10 com base na Equação 2.

Tabela 10: Massa unitária agregado graúdo natural.

Amostra 1	1317,52 Kg/m ³
Amostra 2	1328,32 Kg/m ³

Fonte: Autores, 2018.

Com a obtenção massa unitária do agregado pode-se calcular o índice de vazios das amostras do agregado natural conforme mostra a Equação 3 e mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Índice de vazios do agregado miúdo reciclado.

Amostra 1	99,99%
Amostra 2	99,99%

Fonte: Autores, 2018.

Todos os resultados médios são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados de massa unitária para os agregados.

Propriedade	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo reciclado	Agregado graúdo
Massa unitária (kg/m ³)	1.154,05	1.354,24	1.322,92
Índice de vazios (%)	99,95	99,99	99,95

Fonte: Autores, 2018.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), para concretos normais a massa varia aproximadamente entre 1300 e 1750 kg/m³, porém este valor pode ser mais baixo ou mais alto, pois relativiza o volume ocupado pelos agregados e os vazios da mistura. Sendo que é verificado na Tabela 12 quanto maior a massa unitária maior o índice de vazios.

3.1.1.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção de água

A determinação da massa específica e aparente do agregado miúdo segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2002), é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Utilizou-se o método do picnômetro onde os resultados foram encontrados a partir da Equação 4.

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (4)$$

Onde:

d_3 : é a massa específica do agregado em gramas por centímetros cúbicos;

m : é a massa da amostra seca em estufa, determinada segundo 7.3 da NM 52 (ABNT, 2002), em gramas;

V : é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a : é o volume de água adicionada ao frasco, determinado segundo 8.1 NM 52 (ABNT, 2002), em centímetros cúbicos;

M_s : é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, determinada em 7.1 NM 52 (ABNT, 2002), em gramas;

ρ_a : é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2003) para agregados graúdos, a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água, conforme Equação 5.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (5)$$

Onde:

d : é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetros cúbicos;

m : é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s : é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m_a : é a massa em água da amostra, em gramas;

A massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis à água. As determinações de volume são feitas na balança hidrostática, pela diferença de massa do material submerso, conforme Equação 6.

$$d_a = \frac{m}{m - m_a} \quad (6)$$

Onde:

d_a : é a massa específica aparente, em gramas por centímetros cúbicos;

m : é a massa ao ar da amostra seca em estufa, em gramas;

m_a : é a massa em água da amostra saturada, em gramas;

A absorção é o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca. Todas as propriedades são importantes na dosagem de concretos, conforme Equação 7.

$$A = \frac{m_s - m}{m} 100 \quad (7)$$

Onde:

A : absorção de água, em porcentagem;

m_s : é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m : é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

Para realização destes ensaios, foram seguidos os procedimentos normatizados pela NBR NM 53 (ABNT, 2002). As amostras foram lavadas completamente para remover o pó de seus grãos, então foi seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até que sua massa se tornasse constante, depois foi retirada e seca em temperatura ambiente por um período de 3 horas.

Para os agregados miúdos os procedimentos utilizados foram: separar 1kg de amostra e coloca-la em um recipiente onde pudesse estar coberta por água e então foi deixado por 24hrs em repouso. Após o período de repouso a amostra foi retirada do recipiente e estendida sobre uma superfície plana, estando sobre corrente de ar e temperatura ambiente, foi revolvida para que secasse uniformemente até que os grãos do agregado miúdo não aderissem entre si. Procedimento mostrado na Figura 14.

Figura 14: Procedimento do picnômetro agregado miúdo.



Fonte: Autores, 2018.

Para o ensaio do agregado graúdo foram separados 2kg de amostra pela correlação do diâmetro máximo do agregado graúdo que era de 12,5mm. Os valores parciais para a obtenção dos resultados encontram-se no Apêndice B.

Já os valores para massa específica aparente médio são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados de massa específica aparente para os agregados.

Propriedade	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo reciclado	Agregado graúdo
Massa específica aparente (kg/m ³)	2.185,00	2.233,00	3.048,00

Fonte: Autores, 2018.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), para muitas rochas a massa específica aparente varia entre 2600 e 2700 kg/m³, para granito, arenito e calcário os valores típicos são de respectivamente 2690, 2650 e 2600 kg/m³. Desta forma podemos observar que os resultados encontrados estão conforme a literatura.

3.1.1.5 Estudo do traço

O abatimento do tronco de cone foi obtido através da condição de trabalho e o tipo de construção, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Abatimento do tronco de cone (slump test).

Tipos de construção	Abatimento do tronco de cone em mm	
	Máximo	Mínimo
Fundações, paredes e sapatas armadas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massivo	50	25

Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

A dimensão máxima característica do agregado graúdo foi escolhida conforme disponibilidade local, levando em conta que o agregado de maior dimensão máxima característica, fornecerá menor volume de vazios.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), este não poderá superar um quinto da menor dimensão entre faces da fôrma, um terço da espessura das lajes ou três quartos do menor espaço livre entre armaduras, tendo adequada distribuição granulométrica. Geralmente, a dimensão máxima do agregado graúdo deve ser a máxima disponível, desde que coerente com as dimensões da estrutura.

A estimativa do consumo aproximado de água e o teor de ar requerido foram encontrados em função do abatimento do tronco de cone encontrado na Tabela 14 (p. 47) e da dimensão máxima característica do agregado graúdo, conforme Tabela 15.

Tabela 15: Estimativa do consumo de água e teor de ar.

Abatimento, em mm	Dimensão máxima característica do agregado, em mm				
	9,5	12,5	19	25	38
	Concreto sem ar incorporado				
25	208	199	187	178	163
75 a 100	228	217	202	193	178
150 a 175	243	228	214	202	187

Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

Para calcular o fator água/cimento, foi utilizados o valor encontrado em função do abatimento do tronco de cone e a dimensão máxima característica do agregado graúdo na Tabela 15, e a resistência desejada, interpolando os valores se necessário da Tabela 16.

Tabela 16: Resistência à compressão aos 28 dias.

Resistência à compressão há 28 dias em Mpa	Concreto sem ar incorporado
41	0,41
34	0,48
28	0,57
21	0,68
14	0,82

Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

A estimativa para a quantidade de cimento utilizada foi obtida através da divisão do consumo de água pela relação de água/cimento da Equação 8 (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

$$\frac{W}{R} = C \quad (8)$$

Onde:

W: Consumo de água (Kg) – Tabela 2

R: Água/cimento – Tabela 15

C: Consumo de cimento (Kg)

A estimativa do agregado graúdo foi retirada da Tabela 17.

Tabela 17: Volume de agregado.

Dimensão máxima característica do agregado, em mm	Volume de agregados secos por unidade de volume de concreto para os seguintes módulos de finura da areia			
	2,4	2,6	2,8	3,0
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,75	0,73	0,71	0,69

Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

Em seguida foi calculado a estimativa de agregado graúdo, com a finalidade de preencher os vazios existentes no traço pela Equação 9.

$$M_b = V_b * 1,6 * 1000 \quad (9)$$

Onde:

V_b : Volume do consumo de brita (m^3) - Tabela 17.

M_b : Massa de brita (Kg/m^3).

A estimativa da massa específica do concreto fresco foi estipulado conforme dimensão máxima do agregado graúdo de 12,5mm, estipulando assim um valor de 2307 kg/m^3 conforme Tabela 18.

Tabela 18: Massa específica do concreto fresco.

Dimensão máxima característica do agregado, em mm	Estimativa da massa específica do concreto fresco em kg/m^3
9,5	2278
12,5	2307
19	2349
25	2379
38	2414

Fonte: Mehta e Monteiro, 1994.

Posteriormente todos os componentes do concreto estarão estipulados, exceto o agregado miúdo, o qual se determina pelo método do volume absoluto através da Equação 10.

$$M_a = E_c - (W + C + M_b) \quad (10)$$

Onde:

E_c : Estimativa da massa específica do concreto fresco, em kg/m^3 (Tabela 5)

M_a : Massa da areia, em kg/m^3 .

Devido a diferença entre a prática e a teoria dos materiais que serão utilizados, o traço necessita-se ser ajustado conforme ensaios experimentais fazendo com que o valor desejado seja obtido em prática (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Após os passos executados, foi obtido o traço do concreto apresentado na Tabela 19, sendo ele um traço puro, necessitando uma correção de umidade para manter sua relação água/cimento.

Tabela 19: Esquema do traço.

Materiais	Traço
Cimento (Kg)	
Areia (kg)	
Brita (kg)	
Água (Kg)	

Fonte: Autores, 2018.

Com o traço fornecido pela Tabela 20, obtivemos os traços com as respectivas substituições do agregado de origem cerâmico (AOC).

Tabela 20: Tabela de dosagens.

Materiais	Traço	10% AOC	20% AOC	30% AOC
Cimento (Kg)				
Areia (kg)				
Brita (kg)				
Água (Kg)				

Fonte: Autores, 2018.

3.1.2 Procedimentos de ensaio

3.1.2.1 Resistência à compressão

Para estimá-la, foram moldados 40 corpos de prova para ensaio segundo a norma da ABNT, NBR 5738:2003 e ensaiados a compressão e a tração segundo a norma da ABNT, NBR 5739:2007, após isso foi feita a extração do mesmo segundo ABNT NBR 7680:2015 e levado para uma câmara úmida para sua cura seguindo a norma da ABNT NBR 9479:1993. Foi obtida então a curva de resistência do concreto à compressão.

Após cura aos 7 e 28 dias, se iniciou os rompimentos dos corpos de prova. Com o auxílio da ABNT NBR NM 5738:2003 os corpos prova foram retificados para que não houvesse falhas na planicidade da superfície dos corpos e prova, garantindo a integridade das camadas proporcionando assim uma superfície lisa (Figura 15).

Figura 15: Retificador de corpos de prova.



Fonte: Autores (2018).

Seguindo os procedimentos da ABNT NBR 5739:2007, foram realizados os rompimentos com auxílio de uma prensa hidráulica automatizado, disponível no laboratório do Centro Universitário situado em Cascavel-PR, conforme Figura 16.

Figura 16: Prensa hidráulica.



Fonte: Autores (2018).

3.1.3 Procedimento de coleta

Os dados serão coletados no laboratório do Centro Universitário em forma de gráficos e planilhas, os testes deverão ser realizados conforme NBR 5738 (ABNT, 2003) e NBR 7222 (ABNT, 1994).

Após os traços estarem calculados e corrigidos se iniciou os preparativos para a moldagem dos corpos de prova. Foram necessárias quatro etapas de concretagem, sendo elas divididas em: traço convencional, traço com substituição do agregado miúdo em 10 por cento,

3.1.3.1 Moldagem dos corpos de prova

Com a mistura do concreto pronta, foram realizados os moldes de corpo de prova seguindo os procedimentos da ABNT NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2003) através do método de adensamento manual e com corpos de prova com diâmetro de 100 mm, foram necessárias duas camadas adensadas com 12 golpes sobre cada superfície, tendo o auxílio de uma haste e uma concha. A primeira camada foi atravessada em toda a sua espessura.

Antes da concretagem os moldes dos corpos de prova foram revestidos com uma fina camada de óleo mineral. Após o adensamento realizou-se o arrasamento da última camada com a borda e então foram deixados em repouso no laboratório durante um período de 24 horas, dando início ao seu tempo de cura.

Com o término das 24 horas, os corpos de prova foram identificados e desta forma os artefatos cilíndricos de concreto foram retirados dos moldes e os mesmos foram acondicionados na câmara úmida sobre temperatura constante de 23 ± 2 °C. Para posterior rompimento com 7 e 28 dias.

Para os traços com substituição do agregado miúdo em 20 por cento e traço com substituição do agregado miúdo em 30 por cento. Ambos os traços tiveram a mesma sequência de preparo.

Primeiramente houve a limpeza do misturador, e os materiais foram pesados, sendo misturado cem por cento da brita com cinquenta por cento de água durante um minuto, em seguida foi adicionado à mistura cem por cento do cimento e mais vinte e cinco por cento de água, a mistura ocorreu por mais dois minutos, posteriormente houve a adição de cem por cento de areia e os vinte e cinco por cento de água restantes, por um período de três minutos.

3.1.4 Análise dos dados

Após a cura de 7 e 28 dias, os corpos de prova deverão ser submetidos a testes a fim de aferir sua resistência à compressão, após os mesmos, foi realizado o comparativo de resistência.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Cálculo do traço piloto

Com a utilização do método proposto por Mehta e Monteiro (1994), houve de início a escolha através do tipo de construção do abatimento do tronco de cone, sendo adotado o valor de 75mm – 100mm pela Tabela 14 (p.47).

Após, houve a escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo levando-se em conta a disponibilidade do material, considerando-a desta forma como 12,5mm para utilização.

Para a estimativa da água e do teor de ar levou-se em conta a escolha do abatimento do tronco de cone e a dimensão do agregado graúdo, tendo o seu valor fornecido pela Tabela 15 (p. 47), não considerando ar incorporado o valor adotado foi de 217 kg/m³.

A obtenção da correlação entre relação água/cimento e resistência à compressão do concreto foi dada através da resistência à compressão desejada a 28 dias de 25 MPa, sendo necessários a interpolação dos valores disponíveis na Tabela 16 (p.48) e seus respectivos valores do concreto sem ar incorporado, resultando em 0,61.

Posteriormente, se utilizou a Equação 8 (p.48) com o valor aproximado de água e teor de ar requerido em função do abatimento do tronco de cone e da dimensão máxima característica do agregado graúdo, para se obter a estimativa do consumo de cimento, onde o consumo é igual ao quociente do consumo de água dividido pela relação água cimento, conforme Equação 11.

$$\frac{217}{0,617} = 351,70 \text{ Kg/m}^3 \quad (11)$$

Então, através da correlação do módulo de finura da areia de 2,6 e a dimensão máxima do agregado de 12,5mm, pela Tabela 17 (p.48), foi obtido o volume de 0,57m³ agregado seco por unidade de volume de concreto.

Em seguida foi calculada a estimativa de agregado miúdo, com a finalidade de preencher os vazios existentes no traço pela Equação 9 (p.48), tendo como resultados a Equação 13.

$$M_b = 0,57 * 1,6 * 1000 = 912 \text{ Kg/m}^3 \quad (12)$$

A massa específica do concreto foi obtida utilizando a dimensão do agregado graúdo de 12,5mm, com valor de 2307 kg/m³, conforme Tabela 18 (p.49) e então foi utilizada a Equação 10 (p.498), tendo como resultados a Equação 13.

$$M_{ba} = 2307 - (351,7 + 912 + 217) = 826,3 \text{ Kg/m}^3 \quad (13)$$

Assim, foi possível a obtenção do traço piloto do concreto convencional (Tabela 21), conforme Tabela 19 (p.49).

Tabela 21: Traço piloto.

Traço de concreto para resistência de 25 MPa		
Materiais	Massa (Kg/m ³)	Traço Unitário
1. Cimento	351,7	1
2. Areia fina	826,3	2,349
3. Brita (nº0) - Pedrisco	912	2,593
4. Água	217	0,617
Somatório	2307	-

Fonte: Autores, 2018.

4.1.1.1 Correção do traço piloto

Utilizando a normativa da NBR NM 248 (ABNT, 2003) houve a separação de amostras do agregado miúdo e do graúdo para secagem em estufa a uma temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em um período de 24 horas, obtendo-se a umidade dos respectivos materiais conforme a Tabela 22.

Tabela 22: Valores de umidade para os agregados.

Agregado miúdo			
Massa Úmida =	18,24	Kg	Umidade:
Massa Seca =	17,91	Kg	1,843%
Agregado graúdo			
Massa Úmida =	18,48	Kg	Umidade:
Massa Seca =	18,27	Kg	1,149%

Fonte: Autores (2018).

Desta forma, houve a correção da quantidade de água já calculada no traço conforme a literatura de Mehta e Monteiro (1994) para o traço de concreto convencional de 1 : 2,35 : 2,60 : 0,62 (cimento : areia média : brita 0 : água). Os consumos para correção da umidade são dados na Tabela 23.

Tabela 23: Consumo de materiais para o traço convencional corrigido pela umidade.

Material (Und.)	Massa (Kg/m³)	Umidade (%)	Correção (Kg/m³)	Massa Corrigida (Kg/m³)	Proporção (%)	Traço (Kg)
1. Cimento	351,7			351,70	15,245	6,626
2. Areia fina	826,3	0,0184	15,225	841,52	36,477	15,854
3. Brita (nº0) - Pedrisco	912	0,0115	10,483	922,48	39,986	17,380
4. Água	217		191,292	191,29	8,292	3,604
Σ	2307	0,0299	217	2307	100,000	43,464

Fonte: Autores, 2018.

Após a execução deste traço e a realização do ensaio de determinação da consistência do abatimento através da NBR NM 67 (ABNT, 1998), constatou-se a necessidade de adição de 1,5 kg de agregado miúdo para regularizar a mistura e atender ao abatimento desejado de 100 mm (aceito com ± 20 mm pela norma), o obtido foi de 160 mm. Essa variação ocorreu devido a concretagem ser realizada com o agregado em sua umidade natural, o que inviabilizou o uso deste traço inclusive dos seus corpos de prova, que foram descartados.

Por este motivo, foi necessária a correção do traço proporcionalmente pelos outros agregados, inclusive do agente cimentante. Tendo desta forma um novo traço de concreto convencional, conforme a Tabela 24.

Tabela 24: Consumo de materiais para o traço convencional corrigido pelo *Slump Test*.

Material (Und.)	Massa (Kg/m³)	Umidade (%)	Correção (Kg/m³)	Massa Corrigida (Kg/m³)	Proporção (%)	Areia (Kg)	Traço Final (Kg)
1. Cimento	351,7			351,70	15,245	0,256	6,882
2. Areia fina	826,3	0,0184	15,204	841,50	36,476	0,575	16,429
3. Brita (nº0) - Pedrisco	912	0,0115	10,488	922,49	39,986	0,627	18,007
4. Água	217		191,308	191,31	8,293	0,000	3,604
Σ	2307	0,0299	217	2307	100,000	1,5	44,922

Fonte: Autores, 2018.

Após os ensaios realizados e a moagem do agregado cerâmico fez-se novamente a separação dos materiais para secagem em estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C em um período de 24 horas, obtendo-se a umidade dos respectivos materiais conforme a Tabela 25.

Tabela 25: Valores de umidade concretagem traço piloto corrigido.

Agregado miúdo		
Massa Úmida =	20,3 Kg	Umidade:
Massa Seca =	20,1 Kg	1,346%
Agregado graúdo		
Massa Úmida =	18,5 Kg	Umidade:
Massa Seca =	18,3 Kg	1,149%
Agregado cerâmico		
Massa Úmida =	15,72 Kg	Umidade:
Massa Seca =	15,32 Kg	2,081%

Fonte: Autores, 2018.

A partir dessas umidades, houve a correção da quantidade de água já calculada no traço do concreto de convencional e realizou-se a substituição das porcentagens de 10, 20 e 30 por cento do agregado miúdo pelo agregado de origem cerâmica, onde os consumo são dados na Tabela 26.

Tabela 26: Consumo dos materiais para o traço com substituição corrigido.

Material (Und.)	Traço final 10% (Kg)	Traço final 20% (Kg)	Traço final 30% (Kg)
1. Cimento	6,882	6,882	6,882
2. Areia fina	14,79	13,14	11,50
3. Mat. Cerâmico	1,643	3,286	4,93
4. Brita (nº0) - Pedrisco	18,01	18,01	18,01
5. Água	3,60	3,60	3,60
Σ	44,9	44,9	44,9

Fonte: Autores, 2018.

4.1.1.2 Traços Unitários

Com base em todas as correções e concretagem dos concretos com substituição, em massa, de material fino natural por material fino reciclado de cerâmica tem-se os traços da Tabela 27.

Tabela 27: Traços unitários utilizados na pesquisa.

Material	Traço referência	Traço final 10%	Traço final 20%	Traço final 30%
1. Cimento	1	1	1	1
2. Areia fina	2,387	2,149	1,926	1,671
3. Mat. Cerâmico	-	0,239	0,477	0,716
4. Brita (nº0) - Pedrisco	2,617	2,617	2,617	2,617
5. Água	0,524	0,523	0,523	0,523

Fonte: Autores, 2018.

4.1.2 Propriedades no estado fresco

4.1.2.1 Consistência

Após o fim da mistura houve a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) utilizando a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

O procedimento se iniciou com o umedecimento dos moldes e da placa da base, um dos autores se posicionou com os pés sobre as aletas do cone e com a haste em mãos realizou os 25 golpes em cada uma das três camadas com um terço de altura do molde, distribuindo as sobre a superfície sem transpassar a anterior, enquanto o outro autor encheu rapidamente o molde com o concreto coletado do misturador.

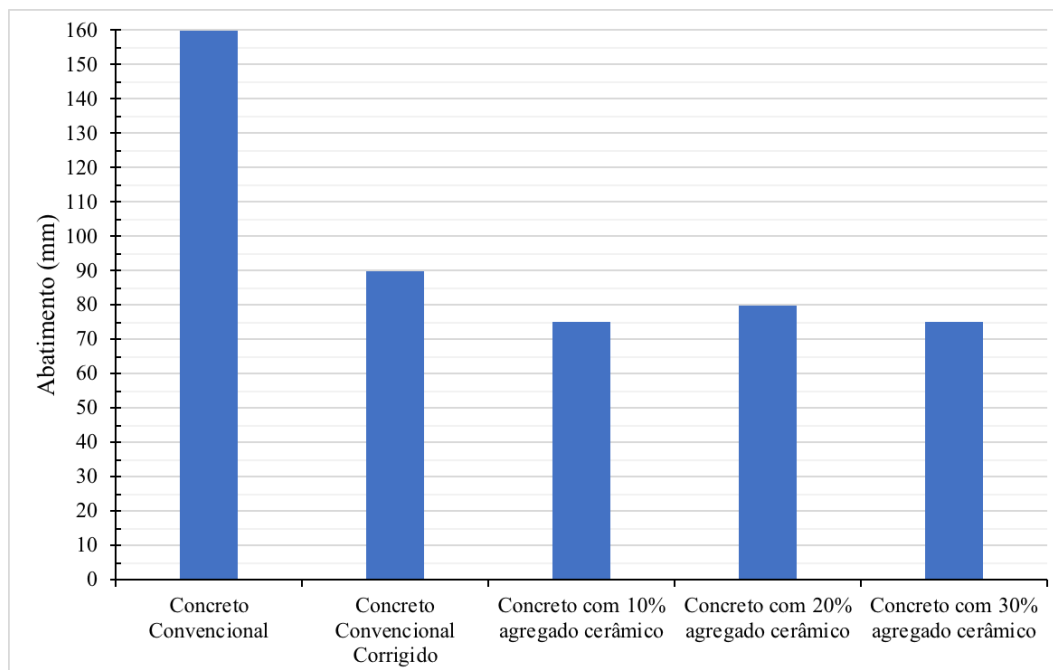
Então ocorreu que o molde foi levantado com um movimento vertical constante e imediatamente com o auxílio de uma régua foi realizado a medição do abatimento conforme Figura 17.

Figura 17: Medida do ensaio de abatimento do tronco de cone.

Fonte: Autores, 2018.

Este procedimento foi realizado da mesma forma durante a concretagem dos diferentes traços com os resultados conforme Figura 18.

Figura 18: Resultado do abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autores, 2018.

Através da dosagem do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994), o abatimento escolhido pelo tipo de estrutura foi de 75 – 100 mm tendo a possibilidade de variar entre 20 mm segundo a NBR 67 (ABNT, 1998). A primeira dosagem não atendeu os parâmetros da norma o que ocasionou em uma correção através da adição em porcentagens proporcionais dos agregados pela quantidade de água adicionada e a partir desta todos os demais abatimentos atenderam o especificado. O ensaio do abatimento do tronco de cone fornece indícios sobre o teor de água na mistura, dando a possibilidade de controlar a resistência através da consistência do concreto (PETRUCCI, 1998).

Como pode ser observado na Figura 18, houve uma perda de 50% de resistência das adições em relação ao convencional, que se deu pelas propriedades do agregado cerâmico, sendo ele um material muito fino, prejudicando na aderência entre a pasta e a argamassa, aumentando assim o seu consumo de água, após a correção a variação do abatimento do concreto foi mínima. Era esperado que o concreto tivesse diminuição no abatimento do concreto convencional devido à utilização de agregados com umidade natural, bem como, um abatimento menor nas dosagens com substituição do agregado cerâmico devido ao tamanho das partículas, sua aderência e porosidade. (MEHTA e MONTEIRO, 1994),

A demora na aplicação do concreto pode ocasionar na perda do abatimento, tendo como solução para o seu lançamento e adensamento de forma adequada à adição de água. Em relação ao módulo de finura, quanto menor for o seu valor, mais fino será o agregado e por consequência maior será o consumo de água e quanto maior o consumo de água, menor será a resistência do concreto.

4.1.3 Propriedades no estado endurecido

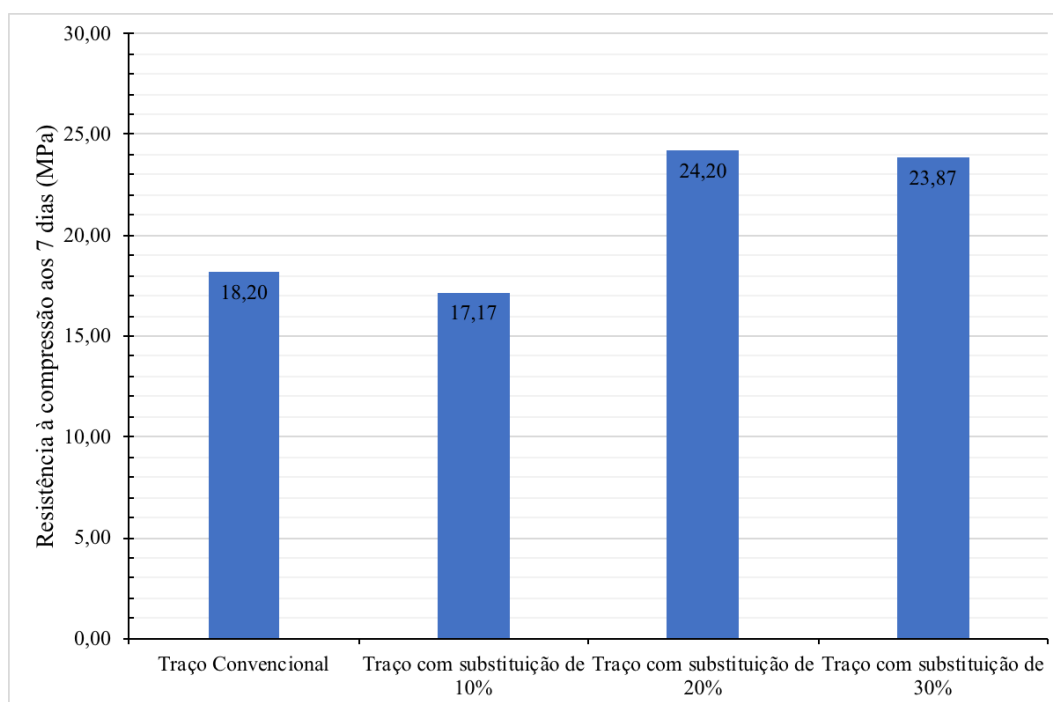
4.1.3.1 Resistência à compressão

Os resultados individuais para a resistência à compressão são demonstrados no Apêndice C.

Para melhor compreensão dos dados fornecidos pela Tabela 35, os dados foram dispostos e organizados pelos gráficos apresentados a seguir.

O gráfico da Figura apresenta os valores médios da resistência à compressão aos 7 dias, enquanto que a Figura 19 os resultados para a resistência aos 8 dias.

Figura 19: Resistência do concreto aos 7 dias.



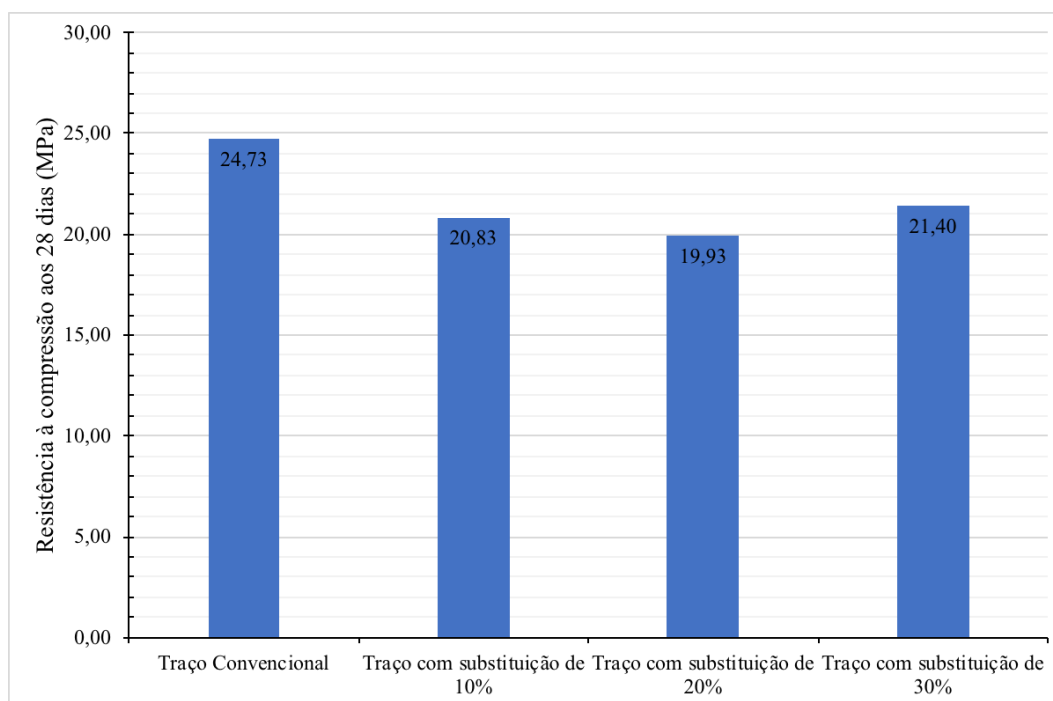
Fonte: Autores, 2018.

Como pode ser observado, é notória a influência do RCD no desempenho do concreto com a idade de 7 dias, tendo maior resistência que o convencional. A diferença entre a resistência do concreto convencional para a maior resistência obtida com substituição foi de 32,96%.

Este comportamento pode ocorrer pela forma do agregado, que apesar de ter uma granulometria muito próxima ao agregado fino ainda mantém a sua aparência áspera podendo ter uma ligação melhor com o cimento durante a mistura e cura do concreto nos primeiros dias. Outro fator que pode influenciar é a absorção da água pelo RCD que pode ser dificultada durante a mistura e fica disponível para as partículas de cimento que ainda não foram hidratadas. (ANGULO, 2001).

Na Figura 20 é possível notar a piora no desempenho aos 28 dias de idade do concreto, o que pode ser explicado pela forma do agregado, que apesar de moído apresenta uma aparência angular o que não permite um empacotamento adequado dos grãos ocasionando em uma quantidade maior de vazios (ÂNGULO, 2001).

Figura 20: Resistência do concreto aos 28 dias.



Fonte: Autores, 2018.

Os corpos de prova não romperam de forma única, apesar de todos sofrerem fraturas no topo no início do carregamento o que indicou irregularidades na retificação do corpo de prova, ocorreram por consequência fraturas do tipo colunares influenciadas pelo topo do corpo

de prova, também houve incidência de fraturas do tipo cisalhada, onde o cisalhamento ocorreu em planos inclinados em relação à direção da força e em outros casos fraturas do tipo cônica com mais de uma partição, tendo como observância a aplicação da carga que ocorreu de forma irregular devido a superfície do corpo de prova estar desnivelada, ambas as observações feitas através da NBR 5739 (ABNT, 2007). Também foi possível constatar após a retirada dos moldes, vazios no adensamento do concreto, tendo por consequência a diminuição da durabilidade e resistência dos corpos de prova (NEVILLE, 1997).

Comparando as resistências é possível notar que a taxa de evolução do concreto convencional ficou em 35,88% em um período de 28 dias. Já com a substituição de 10% do RCD houve uma evolução na resistência de 21,32%, porém, na substituição de 20% houve uma regressão de 21,43%, bem como na de 30% onde também foi possível notar uma piora na resistência em 11,54% no mesmo período de 28 dias. Demonstrando desta forma, que a substituição em maiores porcentagens ocasiona na dificuldade do adensamento da mistura, tendo por consequência a redução da resistência.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da metodologia de Mehta e Monteiro (1994) aperfeiçoou os cálculos dos traços, possibilitando através do uso de procedimentos normatizados para a caracterização dos agregados, identificar de forma satisfatória a maioria dos valores de suas propriedades, mostrando que a mesma pode ser empregada em projetos de diversos tipos de concreto. Foi possível perceber durante este experimento muitas variáveis sobre cada propriedade do concreto.

Em relação ao agregado miúdo o reciclado apresentou-se mais grosso, classificando o após granulometria como areia média, porém se enquadrou na zona utilizável enquanto que o agregado natural se classificou dentro da zona ótima de utilização. O RCD apresentou também menor massa específica, demonstrando-se mais porosa e por consequência um material mais leve.

A trituração dos resíduos com o uso de força manual influenciou diretamente no tamanho dos grãos o que ocasionou em diversas moagens para obtenção do diâmetro requerido para a substituição.

A determinação do abatimento do tronco de cone ocorreu como normativa, tendo um problema no início devido à umidade do material. O controle da adição de água se fez necessário devido à sua influência na resistência da peça estrutural. Não houve variação durante ensaio do abatimento com o uso de material cerâmico, apesar de sua absorção e porosidade, indo contra a tendência de que maior deveria ser o teor de água usado na molhagem da mistura. Não foi realizado o ensaio de absorção por capilaridade dos agregados antes da utilização dos mesmos na dosagem do concreto.

A respeito de propriedades mecânicas o concreto com utilização do resíduo cerâmico apresentou maior resistência à compressão nos primeiros 07 dias, devido a suas propriedades acreditava-se que ocorreria o inverso, vale ressaltar que o concreto convencional ficou com uma diferença de 32,96% em relação a maior resistência obtida pela substituição neste período, tendo como justificativa a maior aderência de seus grãos com a pasta de cimento. Já aos 28 dias de idade se observou que o concreto convencional atendia as maiores resistências como esperado e o reciclado através de sua alta porosidade foi tendo a sua resistência prejudicada. Neste período foi possível observar uma diferença de 24,08% em relação à resistência do

concreto convencional para o menor valor obtido através da substituição de RCD. Porém, nem mesmo o traço de concreto convencional atingiu a resistência especificada de 25 Mpa, ficando com valor próximo de 1,09% abaixo do esperado, podendo ter ocorrido diversos fatores em conjunto ou não para o não atendimento deste critério, dentre eles: erro na dosagem e tempo de mistura do concreto em laboratório, lançamento e mal adensamento dos corpos de prova, a sua cura ocorreu em câmara úmida compartilhada, o que pode ter ocasionado na falta de hidratação do concreto durante alguns períodos conforme constatado em vistorias, devido ao desligamento do fluxo de água.

De forma geral, o concreto produzido com material reciclado apresentou desempenho inferior aos produzidos com agregado natural, porém os resultados ocorreram através do tipo de execução dos ensaios, tipo do material cerâmico que contém variações de regiões, tipo de estrutura a ser empregada e demonstrou-se desta forma a necessidade do aprofundamento deste estudo nas propriedades dos resíduos, com mais moldagens e substituições de RCD, para que o desempenho em estruturas seja alcançado.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para prosseguimento dos estudos se sugere:

- a) Adotar melhorias nos métodos de caracterização dos agregados que provem de origem reciclada;
- b) Avaliar a influência dos agregados reciclados no módulo de elasticidade do concreto;
- c) Realizar este mesmo estudo, utilizando um equipamento para moagem do material reciclado com o intuito de aferir na consistência e granulometria do agregado;
- d) Aperfeiçoar o estudo de diferentes substituições e dosagens do agregado cerâmico para obtenção de uma maior resistência e diminuição da absorção de água no concreto;
- e) Através de experimentos fatoriais, verificar a relação entre a porosidade e a permeabilidade de diferentes materiais reciclados no concreto;
- f) Investigar a diminuição de finos da granulometria de resíduos e a sua influencia na consistência do concreto.

REFERÊNCIAS

ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil. Manual do Concreto Dosado em Central. São Paulo, abril de 2007, 35 p.

ABRAMS, D. A. **Design of Concrete Mixtures**. Chicago: Ed. Lewis Institute, 1919.

AITCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo: Pini, 2000.

ALVES, J. D. **Materiais de construção**. Goiânia/GO : Editora da Universidade Federal de Goiás, 1987

American Society for Testing and Materials. **ASTM. C 232/71**: Standard Test Method for Bleeding of Concrete, 2014. 6p.

ANDRIOLO, F. R. **Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios**. São Paulo: PINI, 1986.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Características de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. São Paulo: USP, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005.

ANGULO, Sérgio Cirelli; JOHN, Vanderley Moacyr. **Determinação dos teores de concreto e argamassa em agregados graúdos de RCD reciclados**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais. Paraná: Ibracon. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 1983.

ARAUJO. “Utilização de resíduos da construção para a produção de argamassa de revestimentos”. In: 49º Congresso Brasileiro de Concreto IBSN 97885, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2000.

_____. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 5739**: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7222:** Argamassa e concreto – Determ. da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 8522:** Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão deformação - Método de ensaio. Rio de Janeiro 2008.

_____. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro 2004.

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

_____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

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

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Vol. 1, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

CABRAL. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese de D. Sc., Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, São Carlos, SP, Brasil, 2009.

DEVENNY, A.; KHALAF, F.M. **The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete**. Mansory International, 1999.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do Concreto**. Ed. PINI. São Paulo. 1992.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1ª Edição. Brasília: SENAI, 1992.

KHATIB, J. M. **Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate**. **Cement and Concrete Research**; volume 35, pages 763 – 769, 2005.

KOULOURIS, A.; Chemical – mineralogical characterization of coarse recycled concrete aggregate. **Waste Management**; volume 27, pages 201-208, 2007.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedade mecânicas de concretos produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição.** Tese de Doutorado. UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concretos.** Dissertação de Mestrado. EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais,** São Paulo, PINI, 1994.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Trad. de Salvador E. Giammusso. São Paulo, Editora Pini, 2 ed. ver. Atual, 1997

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 10ª Edição. São Paulo: GLOBO, 1981.

POON, C. S.; CHAN, D. **The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. Resources, Conservation and Recycling; article in press, 2006.**

POON; C.S.; CHAN, D. **Effect of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials,** volume 21, pages 164–175, 2007.

SÁ, M. V. V. A. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos.** Natal, 2006.

SBRIGHI NETO. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria.** In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP/ANTAC, 170 p. p.107–115, 2005.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedade do concreto fresco.** 6 ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1977.

SOUZA, P. A. B. F. **Reciclagem como estratégia competitiva para a indústria da construção civil.** Congresso Brasileiro de Meio Ambiente, Fortaleza, 2000.

SWAMY, R. N. e col. **Cement replacement materials,** Surrey University Press. London, 1986.

TAM, V.W.Y. **New approach in measuring water absorption of recycled aggregates.** Construction and Building Material, 2006.

TOPÇU, I.B., SENDEL, S. **Properties of concretes produced with waste concrete aggregate.** Cement and Concrete Research, 2007.

APÊNDICE A – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA

Tabela 28: Granulometria do agregado miúdo natural amostras 1 e 2.

Amostra 1				Amostra 2				% ret. acum média
mi =	1,00			mi =	1,00			
mf =	1,00	OK		mf =	1,00	OK		
Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	
4,75	0,00	0,0	0,0	4,75	0,00	0,0	0,0	0
2,36	0,07	7,0	7,0	2,36	0,09	9,0	9,0	8
1,18	0,06	6,0	13,0	1,18	0,08	8,0	17,0	15
0,60	0,10	10,0	23,0	0,60	0,10	10,0	27,0	25
0,30	0,40	40,0	63,0	0,30	0,41	41,0	68,0	66
0,15	0,35	35,0	98,0	0,15	0,32	32,0	100,0	99
Fundo	0,02	2,0	100,0	Fundo	0,00	0,0	100,0	100

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 29: Granulometria do agregado miúdo natural amostras 3 e 4.

Amostra 1				Amostra 2				% ret. acum média
mi =	1,00			mi =	1,00			
mf =	1,00	OK		mf =	1,00	OK		
Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	
4,75	0,00	0,0	0,0	4,75	0,002	0,2	0,2	0
2,36	0,09	9,0	9,0	2,36	0,080	8,0	8,2	9
1,18	0,07	7,0	16,0	1,18	0,090	9,0	17,2	17
0,60	0,12	12,0	28,0	0,60	0,090	9,0	26,2	27
0,30	0,39	39,0	67,0	0,30	0,420	42,0	68,2	68
0,15	0,33	33,0	100,0	0,15	0,310	31,0	99,2	100
Fundo	0,00	0,0	100,0	Fundo	0,001	0,1	99,3	100

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 30: Granulometria do agregado miúdo reciclado amostras 1 e 2.

Amostra 1				Amostra 2				% ret. acum. média
mi =	1,00			mi =	1,00			
mf =	1,00	OK		mf =	1,00	OK		
Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	
4,75	0,000	0,0	0,0	4,75	0,000	0,0	0,0	0
2,36	0,000	0,0	0,0	2,36	0,000	0,0	0,0	0
1,18	0,325	32,5	32,5	1,18	0,348	34,8	34,8	34
0,60	0,290	29,0	61,5	0,60	0,304	30,4	65,2	63
0,30	0,193	19,3	80,8	0,30	0,160	16,0	81,2	81
0,15	0,130	13,0	93,8	0,15	0,134	13,4	94,6	94
Fundo	0,062	6,2	100,0	Fundo	0,054	5,4	100,0	100

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 31: Granulometria do agregado graúdo britado amostras 1 e 2.

Amostra 1				Amostra 2				
mi =	5,00			mi =	5,00			
mf =	5,00	OK		mf =	5,00	OK		
Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	Peneira (mm)	Massa retida	% ret simples	% ret acumu	% ret. acum média
25,00	0,00	0,0	0,0	25,00	0,00	0,00	0,00	0
19,00	0,00	0,0	0,0	19,00	0,00	0,00	0,00	0
12,50	0,250	5,00	5,00	12,50	0,200	4,00	4,00	5
9,50	0,375	7,50	12,50	9,50	0,400	8,00	12,00	12
6,30	2,430	48,60	61,10	6,30	2,300	46,00	58,00	60
4,80	1,852	37,04	98,14	4,80	1,753	35,07	93,07	96
2,36	0,079	1,58	99,72	2,36	0,254	5,08	98,15	99
Fundo	0,014	0,28	100,00	Fundo	0,093	1,85	100,00	100

Fonte: Autores, 2018.

APÊNDICE B – RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA

Tabela 32: Resultados de massa específica agregado miúdo natural.

Amostra 01			Amostra 02		
Picnômetro	13,8	g	Picnômetro	13,8	g
Picnômetro + 500ml água	614	g	Picnômetro + 500ml água	609	g
Picnômetro + 500ml água + agregado	922	g	Picnômetro + 500ml água + agregado	919	g
Massa seca em estufa	500	g	Massa seca em estufa	500	g
ρ_a	0,99659	g/cm ³	ρ_a	0,99659	g/cm ³
Volume de água adicionado ao frasco			Volume de água adicionado ao frasco		
V_a	309,054	cm ³	V_a	311,061	cm ³
Agregado Miúdo - Massa Especifica aparente do agregado seco			Agregado Miúdo - Massa Especifica aparente do agregado seco		
d_1	2,619	g/cm ³	d_1	2,646	g/cm ³
Agregado Miúdo - Massa Especifica do agregado saturado com superfície seca			Agregado Miúdo - Massa Especifica do agregado saturado com superfície seca		
d_2	4,829	g/cm ³	d_2	4,864	g/cm ³
Agregado Miúdo Massa Especifica			Agregado Miúdo Massa Especifica		
d_3	2,180	g/cm ³	d_3	2,190	g/cm ³

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 33: Resultados de massa específica agregado miúdo reciclado.

Amostra 01			Amostra 02		
Picnômetro	13,8	g	Picnômetro	13,8	g
Picnômetro + 500ml água	616	g	Picnômetro + 500ml água	610	g
Picnômetro + 500ml água + agregado	778	g	Picnômetro + 500ml água + agregado	770	g
Massa seca em estufa	300	g	Massa seca em estufa	300	g
ρ_a	0,99659	g/cm ³	ρ_a	0,99659	g/cm ³
Volume de água adicionado ao frasco			Volume de água adicionado ao frasco		
V_a	162,554	cm ³	V_a	160,547	cm ³
Agregado Miúdo - Massa Especifica aparente do agregado seco			Agregado Miúdo - Massa Especifica aparente do agregado seco		
d_1	2,183	g/cm ³	d_1	2,151	g/cm ³
Agregado Miúdo - Massa Especifica do agregado saturado com superfície seca			Agregado Miúdo - Massa Especifica do agregado saturado com superfície seca		
d_2	2,306	g/cm ³	d_2	2,268	g/cm ³
Agregado Miúdo Massa Especifica			Agregado Miúdo Massa Especifica		
d_3	2,150	g/cm ³	d_3	2,316	g/cm ³

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 34: Resultados de massa especifica agregado graúdo.

Amostra 01			Amostra 02		
M_s	2000	g	M_s	2000	g
M_{sub}	1328	g	M_{sub}	1332	g
$M_{úmida}$	1979	g	$M_{úmida}$	1980	g
Agregado Graúdo - Massa Especifica			Agregado Graúdo - Massa Especifica		
d_1	2,945	g/cm ³	d_1	2,964	g/cm ³
Agregado Graúdo - Absorção			Agregado Graúdo - Absorção		
A	1,061	%	A	1,010	%
Agregado Graúdo - Massa Especifica aparente			Agregado Graúdo - Massa Especifica aparente		
d_2	3,040	g/cm ³	d_2	3,056	g/cm ³

Fonte: Autores, 2018.

APÊNDICE C – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela 35: Resultados de resistência à compressão.

Descrição	Nº C.P. (Und.)	Data da Moldagem	Tempo de Cura (Dias)	Data de Rompimento	NBR 5739 - Compressão Axial	
					Carga Obtida (Kgf)	Tensão Obtida (MPa)
Traço Convencional	1	22/03/2018	7	28/03/2018	14,530	18,100
	2	22/03/2018	7	28/03/2018	13,870	17,300
	3	22/03/2018	7	28/03/2018	15,410	19,200
	1	22/03/2018	28	19/04/2018	20,160	25,200
	2	22/03/2018	28	19/04/2018	18,480	23,100
	3	22/03/2018	28	19/04/2018	20,730	25,900
Traço com substituição de 10%	1	22/03/2018	7	28/03/2018	14,020	17,500
	2	22/03/2018	7	28/03/2018	13,740	17,200
	3	22/03/2018	7	28/03/2018	13,420	16,800
	1	22/03/2018	28	19/04/2018	14,770	18,400
	2	22/03/2018	28	19/04/2018	16,490	20,600
	3	22/03/2018	28	19/04/2018	18,860	23,500
Traço com substituição de 20%	1	26/03/2018	7	02/04/2018	19,740	24,600
	2	26/03/2018	7	02/04/2018	19,840	24,800
	3	26/03/2018	7	02/04/2018	18,560	23,200
	1	26/03/2018	28	23/04/2018	14,030	17,500
	2	26/03/2018	28	23/04/2018	19,320	24,100
	3	26/03/2018	28	23/04/2018	14,610	18,200
Traço com substituição de 30%	1	26/03/2018	7	02/04/2018	18,610	23,200
	2	26/03/2018	7	02/04/2018	19,180	23,900
	3	26/03/2018	7	02/04/2018	19,610	24,500
	1	26/03/2018	28	23/04/2018	14,940	18,700
	2	26/03/2018	28	23/04/2018	13,970	17,400
	3	26/03/2018	28	23/04/2018	22,470	28,100

Fonte: Autores, 2018.