

**DEBORAH FERRAZ CORREA
HELOISA DE ANDRADE MOLINA
ISABELA FUJIMORI SAWADA**

**FORMULAÇÃO DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO
UTILIZANDO O MÉTODO DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS**

SÃO CAETANO DO SUL

2018

**DEBORAH FERRAZ CORREA
HELOISA DE ANDRADE MOLINA
ISABELA FUJIMORI SAWADA**

**FORMULAÇÃO DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO
UTILIZANDO O MÉTODO DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientadora: Profa. Dra. Heloísa Cristina Fernandes Cordon.

SÃO CAETANO DO SUL

2018

Deborah Ferraz Correa
Heloisa de Andrade Molina
Isabela Fujimori Sawada

**Formulação de concreto com agregado reciclado utilizando o método de
empacotamento de partículas**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
pela Escola de Engenharia Mauá do Centro
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Banca avaliadora:

Orientadora Profa. Dra. Heloísa Cristina Fernandes Cordon

Avaliadora Profa. Dra. Cássia Silveira de Assis

Avaliador Dr. Márcio Joaquim Estefano de Oliveira

São Caetano do Sul, 03 de dezembro de 2018.

Correa, Deborah Ferraz

Formulação de concreto com agregado reciclado utilizando o método de empacotamento de partículas/ Deborah Ferraz Correa, Heloisa de Andrade Molina e Isabela Fujimori Sawada,—São Caetano do Sul, SP : IMT-CEUN, 2018.

79p.

1. Concreto 2. Agregado reciclado 3. Método do empacotamento de partículas I. Heloisa de Andrade Molina. II. Isabela Fujimori Sawada. III. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. IV. Formulação de concreto com agregado reciclado utilizando o método do empacotamento de partículas.

CDU-001.8

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de agradecer às nossas famílias que nos deram todo o suporte para a nossa formação.

À nossa orientadora Profa. Dra. Heloísa Cristina Fernandes Cordon por todo o embasamento teórico e dedicação à esse trabalho.

À Prof. Dra. Cássia Silveira de Assis por todos os conselhos dados para a melhoria deste trabalho.

Ao técnico José Luiz Ribeiro por nos auxiliar em todos os ensaios.

Aos técnicos do laboratório de ensaios mecânicos, do Instituto Mauá de Tecnologia, pela ajuda nos ensaios de resistências.

Por fim, às empresas Intercement e Urbem Tecnologia Ambiental pelo fornecimento dos materiais necessários para a realização deste trabalho.

RESUMO

A construção civil gera muita poluição, pois utiliza grande quantidade de cimento, principalmente na formulação de concreto. Além disso, esse setor é responsável por grande parte da geração dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, este trabalho desenvolveu a formulação de concreto com substituição parcial do agregado natural pelo reciclado, que são provenientes dos resíduos de construção e demolição. Porém esse material diminui a resistência do concreto, e para compensar isso, utilizou-se o método de empacotamento de partículas, que reduz os espaços vazios presentes no concreto. Assim, analisou-se primeiramente os materiais utilizados de acordo com a massa específica, massa unitária, granulometria e absorção. Então, numa fase preliminar, verificou-se o comportamento do agregado reciclado e a eficiência do método de empacotamento de partículas, que foi realizado com o modelo de Andreassen modificado, e um coeficiente de empacotamento de 0,35. Em seguida estudaram-se quatro teores de substituição do agregado natural pelo reciclado: 25%, 50%, 75% e 100%, a partir do traço obtido pelo modelo de empacotamento para o concreto de referência. Concluiu-se que os quatro concretos produzidos com esses teores de substituição alcançaram resistência à compressão maiores que 25MPa aos 63 dias de idade. O melhor teor de substituição foi o de 50%, pois atingiu maior resistência à compressão e menor índice de ligantes. Além disso, o consumo de cimento reduziu conforme aumentou-se o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado.

Palavras-chave: Resistência à compressão. Resíduo de construção e demolição. Empacotamento de partículas.

ABSTRACT

Civil construction generates a lot of pollution because it uses a large quantity of cement, especially in concrete formulation. In addition, this industry is responsible for most of solid urban waste. Thus, this work developed the formulation of concrete with partial replacement of the natural aggregates by recycled aggregates, which comes from construction and demolition waste. However, this material reduces the strength of concrete. So particle packing method was used in order to improve strength, which reduces the voids present in the concrete. Like so, the materials were characterized for specific mass, unit mass, particle size and absorption. Then, in a preliminary study, it was analyzed the performance of the recycled aggregate and the efficiency of the particle packing method, which was made with the modified Andreassen model with packing coefficient of 0,35. Finally, it was studied four substitution levels of the natural aggregates by recycled aggregates: 25%, 50%, 75% and 100%, which were obtained by the dosage of the materials for the concrete reference with the packing model. It was concluded that all the concretes produced with these substitution levels reached compressive strength greater than 25MPa at 63 days of age. The best substitution was 50%, because it achieved higher compressive strength and lower binder intensity. In addition, cement consumption decreased as the percentage of recycled aggregates increased.

Keywords: Compressive strength. Construction and demolition waste. Particle packing method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta de RSU no Brasil.....	18
Figura 2 - RCD da Usina Urbem Tecnologia Ambiental.....	21
Figura 3 – Arranjo de partículas cúbicas esféricas CFC.....	22
Figura 4 - Coeficiente de compactação.....	23
Figura 5 – Empacotamento de partículas.....	23
Figura 6 - Influência da densidade dos agregados no índice de ligantes.....	26
Figura 7 – Cimento CPV – ARI.....	28
Figura 8 – Areia rosa.....	28
Figura 9- Brita 0.....	28
Figura 10 – Pedrisco reciclado.....	29
Figura 11 - Curvas elaboradas pelo software "EMMA".....	30
Figura 12 - Resultado do Slump Test para o concreto T1.....	32
Figura 13 – Resultado do Slump Test para o concreto T2.....	32
Figura 14 – Resultado do Slump Test para o concreto T3.....	32
Figura 15 – Traço T4.....	34
Figura 16 - Traço T5.....	35
Figura 17 - Traço T6.....	36
Figura 18 - Traço T7.....	36
Figura 19 - Traço T8.....	37
Figura 20 - Resultado do slump test para o concreto T4.....	38
Figura 21 - Resultado do slump test para o concreto T5.....	38
Figura 22 - Resultado do slump test para o concreto T6.....	38
Figura 23 - Resultado do slump test para o concreto T7.....	39
Figura 24 - Resultado do slump test para o concreto T8.....	39
Figura 25 - Distribuição granulométrica do cimento CPV - ARI.....	41

Figura 26 - Distribuição granulométrica da areia rosa	42
Figura 27 - Distribuição granulométrica da brita 0	42
Figura 28 - Distribuição granulométrica do pedrisco reciclado – Etapa 1	43
Figura 29 - Distribuição granulométrica do pedrisco reciclado - Etapa 2	43
Figura 30 - Comparação entre os corpos de prova dos concretos T2 (à esquerda) e T3 (à direita)	45
Figura 31 - Resistência média à compressão (MPa)	46
Figura 32 - Corpo de prova do o traço T1	46
Figura 33 - Corpo de prova T1 rompido	47
Figura 34 - Interior do corpo de prova T2	47
Figura 35 - Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	48
Figura 36 - Corpo de prova do concreto T1 na prensa	48
Figura 37 - Corpo de prova do concreto T2 rompido	49
Figura 38 - Deformação no corpo de prova do concreto T2	49
Figura 39 - Interior dos corpos de prova T4, T5, T6, T7 e T8, da esquerda para direita	50
Figura 40 - Resistência média à compressão	51
Figura 41 - Resistência à tração por compressão diametral à 28 dias	52
Figura 42 - Peneiras de grandes aberturas	64
Figura 43 – Peneiras de pequenas aberturas	65
Figura 44 – Frascos de Chapmann	66
Figura 45 – Provetas	66
Figura 46 – Le Chatelier	67
Figura 47 – Equipamento utilizado para	68
Figura 48 – Brita sendo colocada no caixote na direção y	68
Figura 49 – Brita sendo colocada no caixote na direção x	69
Figura 50 – Materiais submersos em água	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade total de RCD coletado no Brasil	19
Tabela 2 – Coleta de RCD na região sudeste	19
Tabela 3 - Maiores produtores de cimento (milhões de toneladas)	24
Tabela 4 - Traços	31
Tabela 5 – Relação entre a trabalhabilidade do concreto e o teste de abatimento	33
Tabela 6 – Traços com substituição do agregado natural pelo reciclado	35
Tabela 7 - Massa específica dos materiais utilizados	44
Tabela 8 - Massa unitária dos materiais utilizados	44
Tabela 9 - Absorção de água dos materiais utilizados.....	45
Tabela 10 - Consumo de cimento de acordo com o tipo de concreto	49
Tabela 11 - Índice de ligantes	50
Tabela 12 - Consumo de cimento.....	53
Tabela 13 - Índice de ligantes	54
Tabela 14 - Custos dos materiais em São Paulo	54
Tabela 15 - Resistência à compressão.....	70
Tabela 16 - Resistência à tração por compressão diametral	71
Tabela 17 - Resistência à compressão da segunda etapa	72
Tabela 18 - Resistência à tração por compressão diametral em 28 dias.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

kg - Quilograma

g - Grama

ml - Mililitros

L - Litros

MPa - Mega Pascal

m - Metro

cm - Centímetro

mm - Milímetro

μm - Micrometro

s - Segundo

kgf - Quilograma-força

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS	11
SUMÁRIO	12
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVOS GERAIS	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. PESQUISA DE REFERÊNCIA	18
3.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	18
3.2 MÉTODO DO EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS	21
3.3 CONSUMO DE CIMENTO	23
3.4 ÍNDICE DE LIGANTES	25
3.5 ABSORÇÃO DO AGREGADO RECICLADO	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 SELEÇÃO DO MATERIAL	28
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	29
4.3 VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS	29
4.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS DA PRIMEIRA ETAPA	31
4.5 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA PRIMEIRA ETAPA	33
4.6 SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO RECICLADO PELO NATURAL	33
4.7 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS DA SEGUNDA ETAPA	37
4.8 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA SEGUNDA ETAPA	40
5. RESULTADOS	41
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	41
5.1.1 GRANULOMETRIA	41
5.1.2 MASSA ESPECÍFICA	44

5.1.3	MASSA UNITÁRIA	44
5.1.4	ABSORÇÃO.....	44
5.2	ESTUDO PRELIMINAR	45
5.2.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	45
5.2.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	47
5.2.3	CONSUMO DE CIMENTO.....	49
5.2.4	ÍNDICE DE LIGANTES	50
5.3	ENSAIOS FINAIS	50
5.3.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	51
5.3.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	52
5.3.3	CONSUMO DE CIMENTO.....	53
5.3.4	ÍNDICE DE LIGANTES	53
5.4	VIABILIDADE ECONÔMICA	54
6.	CONCLUSÃO.....	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A	64
	APÊNDICE B.....	70
	ANEXO A	74

1. INTRODUÇÃO

O meio físico é responsável por fornecer tudo o que é necessário para se viver confortavelmente. A inteligência do homem permitiu a descoberta do uso dos recursos naturais e, tendo isso a seu favor, transformou-os em diferentes bens de consumo. É neste momento que se forma um ciclo de produção, sendo o primeiro passo remover a matéria prima da natureza e o segundo passo modificá-la, uma ou mais vezes, para enfim obter o material desejado e usufruir do mesmo.

Entretanto, o consumo excessivo dos recursos naturais oriundos de fontes não renováveis, tem gerado escassez e sérios impactos ambientais para o planeta (BRASILEIRO et al, 2015). Esses danos estão afetando o funcionamento e o equilíbrio do sistema de um modo geral e dessa forma, esse tema tem ganhado relevância no cenário mundial, uma vez que a carência desses bens impacta de forma desfavorável a vida de todos.

Um dos grandes responsáveis por esse quadro negativo no ponto de vista sustentável é a construção civil, uma vez que consome cerca de 20% a 50% dos recursos naturais de todo o planeta e, conseqüentemente, gera resíduos, desde a implantação até a demolição das estruturas (SANTOS et al, 2011; BRASILEIRO e MATOS, 2015). Assim, admitindo-se a necessidade de traçar estratégias para diminuir os impactos prejudiciais ao meio ambiente, torna-se necessário usar como instrumento de análise o concreto, material que necessita de diferentes tipos de matérias primas em sua composição, entre elas o cimento.

A construção civil, segundo Benite (2011), é responsável por 1/3 das emissões de gases de efeito estufa, sendo a produção de cimento uma das maiores responsáveis por essa poluição, uma vez que para cada tonelada produzida deste material, cerca de 900kg de gás carbônico são emitidos na atmosfera (FREIRE, 2016).

Visto o impacto negativo que a produção de cimento causa ao meio ambiente, surge uma maneira de diminuir o uso deste material na produção do concreto, sem prejudicar a sua resistência: através do método de empacotamento de partículas. Desenvolvido por Féret, este procedimento consiste em utilizar diferentes granulometrias de agregados, a fim de reduzir os espaços vazios entre os grãos (AIQUIN et al, 1997; AIQUIN et al, 1999; de Larrard et al, 1994).

Além disso, as atividades de construção e demolição geram um enorme volume de resíduos que causa grande impacto ambiental. No Brasil, cerca de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos podem ser de resíduos de construção civil, chamados RCC (IPEA, 2011). Logo, reintroduzir esses materiais na produção de concreto é uma maneira eficaz de reduzir os desperdícios e combater a poluição.

Dessa forma, esse trabalho estudou a eficiência do método de empacotamento de partículas e analisou alguns teores de substituição do agregado natural pelo reciclado, de forma a reduzir o consumo de cimento sem afetar a resistência do concreto e também de reutilizar este material como agregado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a substituição parcial de agregados naturais por reciclados para a produção de concreto, utilizando o método do empacotamento de partículas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) analisar o comportamento do concreto com agregados reciclados;
- b) verificar a eficiência do método de empacotamento de partículas.

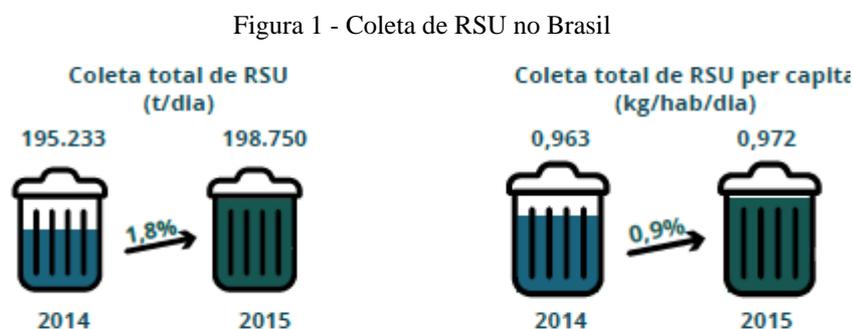
3. PESQUISA DE REFERÊNCIA

3.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O volume de resíduos produzidos foi crescendo conforme a expansão da população, o que acarretou em um aumento de custos para armazená-los em aterros. Por exemplo, na cidade de São José do Rio Preto em São Paulo, o custo em 1999 era de R\$4,90 por m³ de RCD coletado (PINTO, 1999) e passou para R\$ 27,00 em 2009 (NETO, 2009), um aumento de mais de 450% em dez anos (OLIVEIRA et al, 2009). Por isso, a procura por alternativas como reciclagem e reaproveitamento se tornou cada vez mais necessária, atraindo o setor público.

Na Malásia, a massa de RCC em conjunto com a massa dos resíduos industriais, representam 28% do total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (BEGUN et al. 2006). Na Austrália, Hong Kong, Kuwait e Reino Unido esse tipo de resíduo representam aproximadamente 37%, 38%, 58% e 60% respectivamente do total de RSU (TERRY, 2004; TAM e TAM, 2006; RAHAL, 2007; DHIR et al., 2004). Já nos Estados Unidos e na União Europeia, a massa de RCD está em uma faixa entre 10% a 30% da massa dos RSU (EC, 2016; BROVIAK, 2005). A Europa segue uma política de gerenciamento de RCD desde 1996, uma vez que estes representam uma grande parte dos resíduos totais gerados (EC, 2000).

No Brasil, há aproximadamente 199.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados por dia, como visto na Figura 1, sendo que mais de 64.000 são RCD, ou seja, mais de 30% do total, como pode ser visto na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente (Abrelpe, 2015).



Fonte: Abrelpe, 2015.

Tabela 1 – Quantidade total de RCD coletado no Brasil

Região	2014	2015	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Brasil	122.262/0,603	123.721	0,605

Fonte: Abrelpe, 2015.

Tabela 2 – Coleta de RCD na região sudeste

Região	2014	2015	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Sudeste	63.469/0,746	64.097	0,748

Fonte: Abrelpe, 2015.

O gerenciamento desses resíduos é fundamental pois afetam aspectos sociais, econômicos e ambientais (BRASILEIRO e MATOS, 2015). Assim, com o objetivo de estabelecer diretrizes, critérios e procedimento para gestão dos RCC, foi criada a Resolução n° 469 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O art. 3° desta Resolução classificou os resíduos de construção civil da seguinte maneira:

(CONAMA, 2015 - Anexo A)

"Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso (Redação dada pela Resolução n° 469/2015);

III - Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (Redação dada pela Resolução n° 431/11);

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (nova redação dada pela Resolução n° 348/04)."

Além disso, em 2010, foi aprovada a lei n° 12.305, que define a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, incentivando a reciclagem e sustentabilidade (BRASILEIRO e MATOS, 2015). Apesar de todas as leis, ainda existe uma grande parte dos resíduos descartados irregularmente e as usinas recicladoras recebem um material com altos índices de impurezas como pode ser visto na Figura 2. Como não há grandes investimentos nesse setor, essas usinas trabalham com equipamentos de baixa tecnologia. Por isso, os agregados reciclados obtidos possuem vários materiais diferentes como cerâmicas, concreto, asfalto, entre outros, o que prejudica a resistência desse material. Assim, atualmente, só existem normas brasileiras para o uso dos agregados reciclados em obras não estruturais, como na pavimentação.

Deve-se considerar que há grande variabilidade nos materiais recebidos pelas usinas de reciclagem, uma vez que esses resíduos provém de diferentes construções, como por exemplo: rodovias e edificações. Dessa forma, é difícil estimar a qualidade do agregado pois a proporção dos componentes cerâmicos e das impurezas dependem da procedência do material descartado.

Figura 2 - RCD da Usina Urbem Tecnologia Ambiental



Fonte: Autores, 2018.

3.2 MÉTODO DO EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

O primeiro estudo sobre o método de empacotamento de partículas foi apresentado em 1892, por Féret. Essa análise consistia em reduzir o volume de vazios do concreto e, por consequência, aumentar a densidade a fim de obter maior resistência (AIQIN et al., 1997; AIQIN et al., 1999; DE LARRARD & SEDRAN, 1994).

A partir disso, foram desenvolvidas diversas distribuições granulométricas com o objetivo de gerar o maior empacotamento de partículas possível. O modelo de Furnas possuía uma abordagem discreta, considerando as partículas individualmente. Já o modelo de Andreassen abordava as partículas como uma distribuição contínua, contudo, ele contemplava partículas infinitamente pequenas e, dessa forma, não poderia ser aplicado a realidade (OLIVEIRA, 2013).

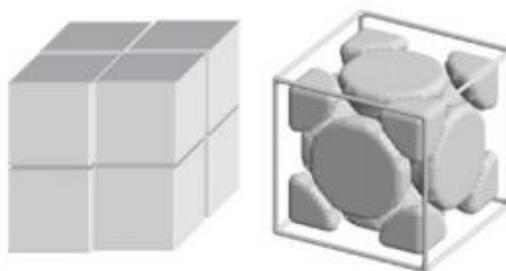
Assim surgiu o Modelo de Alfred, aperfeiçoando a teoria e considerando o diâmetro da menor partícula, que utilizava a Equação 1 como base, onde CPFT representa a porcentagem volumétrica de partículas menores que o diâmetro D , D_L o diâmetro da maior partícula, D_s o diâmetro da menor partícula e q o coeficiente de distribuição.

$$CPTF (\%) = \left(\frac{D^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Entretanto, como cada tese propunha uma curva granulométrica diferente, havia dúvidas sobre a validade dos métodos. Então De Larrard construiu uma teoria que solucionava a questão do empacotamento de misturas secas em todos componentes utilizados na dosagem do concreto (DE LARRARD, 1999).

Assim, o método consiste em um modelo construído em dois módulos. No primeiro deles, as propriedades e as equações estão relacionadas às formas geométricas das partículas e estabelece um empacotamento virtual, obtido quando partículas se configuram de forma a obter um arranjo geométrico ideal. Por exemplo, caso haja partículas cúbicas idênticas obtém-se arranjo de face a face, com compacidade virtual de 100% e, caso as partículas sejam esféricas corresponde-se a um arranjo cúbico de face centrada (CFC), com compacidade virtual de 74%, como visto na Figura 3 (STOVALL et al, 1986; DE LARRARD et al, 1987).

Figura 3 – Arranjo de partículas cúbicas esféricas CFC

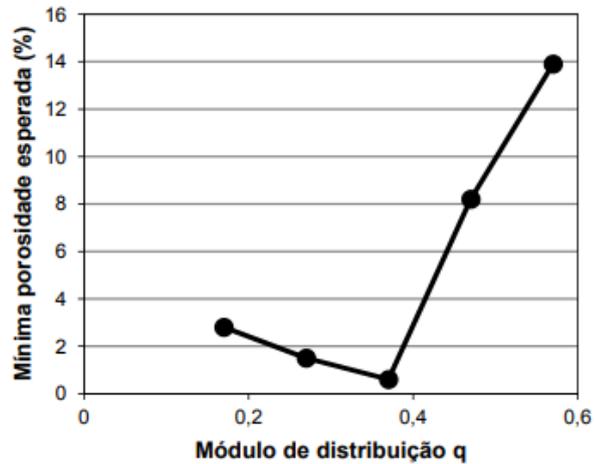


Fonte: Formagini, 2004.

Já no segundo módulo, são estabelecidas as relações entre as propriedades virtuais e as propriedades reais da mistura granular utilizada no procedimento de empacotamento por meio de um parâmetro denominado coeficiente de compactação “q” (DE LARRARD, 1999; SEDRAN, 1999).

Assim, através de simulações computacionais foi verificado que para não haver porosidade residual, o coeficiente de compactação deve ser menor ou igual a 0,37, favorecendo o empacotamento máximo (VANDERLEI, 2004). A Figura 4 reafirma esse resultado a partir de simulações computacionais, calculadas pelo modelo de Andreassen modificado em função de uma distribuição granulométrica com tamanho mínimo de $17\mu\text{m}$ e tamanho máximo de 16mm. (FUNK; DINGER, 1992).

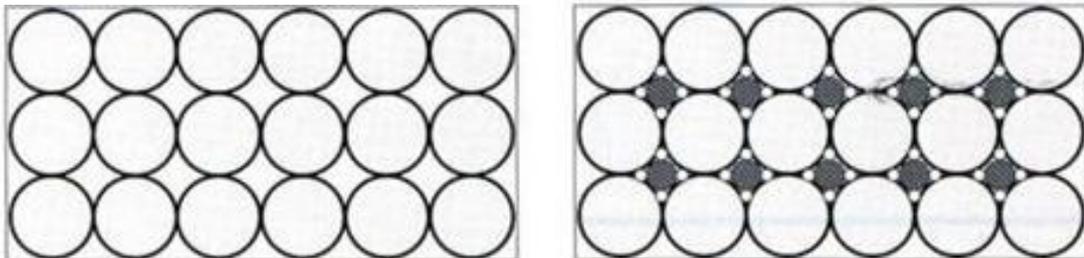
Figura 4 - Coeficiente de compactação



Fonte: Funk; Dinger, 1992

Dessa forma, o empacotamento de partículas consiste em selecionar partículas com tamanhos adequados e determinar a proporção entre as quantidades desses tamanhos, visando obter maior densidade. Na Figura 5 é possível ver como o método funciona, preenchendo os espaços vazios da estrutura de partículas grandes com partículas menores e assim sucessivamente.

Figura 5 – Empacotamento de partículas



Fonte: Schimidit et al, 2013.

3.3 CONSUMO DE CIMENTO

O cimento é um material aglomerante essencial na fabricação do concreto e, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o Brasil é o 6º maior produtor de cimento em todo o mundo, com uma fabricação na ordem de 59,2 milhões de toneladas em 2011, como visto na Tabela 3 (SNIC, 2011).

Tabela 3 - Maiores produtores de cimento (milhões de toneladas)

Países	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
China	967,8	1079,6	1253,5	1379,0	1401,2	1657,1	1881,9
Índia	136,9	146,8	162,0	172,9	186,1	190,0	213,9
Estados Unidos	97,4	99,4	98,2	95,5	86,5	64,0	65,5
Turquia	41,3	45,6	49,0	50,8	53,4	57,6	62,7
Irã	32,3	32,7	35,3	40,0	44,4	48,8	61,3
Brasil	36,5	39,2	42,4	47,2	52,3	51,7	59,2
Vietnã	26,2	30,8	32,7	35,8	36,3	47,7	55,0
Japão	72,4	72,7	73,2	71,4	67,6	59,6	51,7
Rússia	46,2	49,5	55,2	60,1	53,5	45,7	50,4
Egito	35,5	38,9	39,2	40,1	40,1	46,9	48,2
Coréia do Sul	55,8	49,1	51,4	54,4	55,1	52,2	47,4
Arábia Saudita	25,6	26,1	27,1	30,4	37,4	37,8	42,5
Indonésia	37,9	36,1	38,1	39,9	41,8	39,7	39,5
México	33,4	35,4	38,4	39,2	37,7	35,4	34,5
Itália	46,1	46,4	47,8	47,4	43,0	36,4	34,4

Fonte: SNIC, 2011

O processo de fabricação do cimento consiste basicamente de quatro etapas: a extração de matérias-primas, a mistura, a moagem e o aquecimento das mesmas no forno a fim de produzir o clínquer, principal componente do cimento Portland (BELATO, 2013). Contudo, para que essa indústria funcione, é necessário consumir cerca de 2% da energia mundial (NIELSEN, 2012).

Além disso, diversos poluentes são emitidos durante o funcionamento desse tipo de fábrica, sendo que os principais são: óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono e material particulado (conjunto de partículas sólidas ou líquidas que ficam em suspensão na atmosfera) (BELATO, 2013).

A emissão anual de dióxido de carbono proveniente da fabricação de cimento Portland é de aproximadamente 5% de toda a liberação desse poluente por fonte antrópica (WBCSD, 2009). Nesse processo de produção, a elaboração do clínquer é a principal responsável por gerar esse gás, sendo a reação de calcinação responsável por 50% do CO₂, enquanto a queima de combustíveis no forno gera 40% desse poluente (BOSOAGA et al, 2009).

Dessa forma, reduzir o consumo de cimento no concreto sem afetar a sua resistência seria uma forma de diminuir o impacto negativo causado ao meio ambiente. Então, primeiramente é necessário determinar o consumo de cimento por metro cúbico de concreto e isso pode ser

feito a partir da Lei de Molinari, como mostra a Equação 2. Para isso, utiliza-se o traço do concreto e os valores de massa específica para cada material.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c} \quad (2)$$

Sendo:

a = agregado miúdo

p = agregado graúdo

γ_c = massa específica do cimento

γ_a = massa específica do agregado miúdo

γ_p = massa específica do agregado graúdo

a/c = relação água/cimento

Com a redução dos espaços vazios e do consumo de cimento, a quantidade de água necessária para que haja movimentação das partículas é menor. Assim, ao diminuir o teor de água e manter o mesmo teor de cimento, haverá uma redução na relação a/c, aumentando a resistência do concreto. Dessa forma, se a quantidade de cimento diminuir concomitantemente à redução da água, a resistência se mantém.

3.4 ÍNDICE DE LIGANTES

Na busca por um concreto mais sustentável, surge um indicador de eficiência ambiental do concreto: o índice de ligantes (IL), definido como a massa de ligantes (adições ativas, clínquer e sulfato de cálcio) em kg/m³ para produzir um metro cúbico de concreto, dividido pela resistência do concreto em MPa, como visto na Equação 3 (DAMINELLI, 2013).

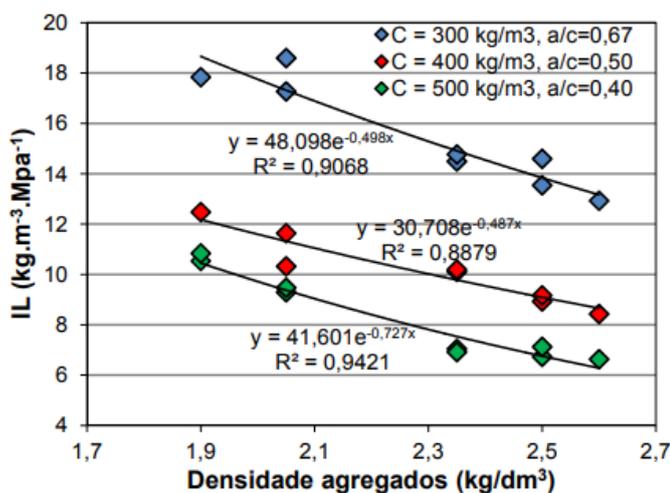
$$IL \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{MPa}} \right] = \frac{\text{Massa de ligantes}}{\text{Resistência}} \quad (3)$$

Dessa forma, quanto maior for o índice, maior o teor de ligantes necessários para desempenhar a mesma função, logo menor a eco-eficiência do concreto (DAMINELLI, 2013).

Para um concreto produzido com agregados de resíduo de construção e demolição, a densidade deste componente pode afetar diretamente o índice de ligantes. Segundo os dados

apresentados na Figura 6, o índice de ligantes aumenta conforme a redução da densidade dos agregados, ainda que se mantenha o mesmo consumo de cimento e a mesma relação água/cimento do concreto. Isso ocorre porque a baixa densidade de agregados é resultante da grande porosidade dos mesmos e, por consequência, isso diminui a resistência do concreto.

Figura 6 - Influência da densidade dos agregados no índice de ligantes



Fonte: Ângulo et al, 2010.

Para concretos que utilizaram agregado reciclado com densidade em torno de 1,9kg/dm³, com consumo de cimento igual a 300kg/m³ e relação água cimento igual a 0,67, o índice de ligantes obtido aos 28 dias foi maior que 18kg/(m³.MPa), enquanto em concretos com agregados naturais é aproximadamente 13kg/(m³.MPa) (DAMINELLI, 2013).

3.5 ABSORÇÃO DO AGREGADO RECICLADO

A capacidade de absorção do agregado pode variar de acordo com diversos fatores, como por exemplo, sua umidade inicial e o tempo de permanência de contato entre este material e a água.

O agregado reciclado possui maior porosidade em relação ao natural, uma vez que contém componentes cerâmicos. Dessa forma, a absorção de água pelo agregado reciclado torna-se maior, influenciando diretamente a produção do concreto.

Segundo Barra (1996), se durante a produção do concreto, o agregado graúdo reciclado é inserido diretamente na argamassa, a absorção do agregado não ocorre de maneira uniforme.

Entretanto, se o agregado seco é primeiramente misturado com água, evita-se que esse material retire água da mistura quando o concreto for feito, pois as partículas já estarão quase saturadas.

Segundo Lima (1999), deixar o agregado 5 minutos em imersão na água faz com que o mesmo atinja pelo menos 95% da sua absorção máxima, sendo considerado tempo suficiente para a pré-umidificação dos agregados. Já Maultzsch e Mellmann (1998) analisaram que após 10 minutos de imersão em água, os agregados absorvem 70 a 95% do total de água.

Então, Knights (1998) concluiu que o agregado reciclado não absorvia toda a água necessária durante a pré-umidificação. Logo, foi sugerido que somente a água absorvida no período de 10 minutos fosse considerada na correção da água total inserida no concreto.

Segundo Leite (2001), é importante analisar a absorção dos agregados reciclados pois essa taxa influencia diretamente a relação água/cimento, o que pode ser prejudicial para a trabalhabilidade do concreto.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 SELEÇÃO DO MATERIAL

Os materiais que compõem o concreto são: cimento, água, agregado graúdo e miúdo. Para este estudo, o concreto de referência foi produzido com o cimento Portland – tipo V, com alta resistência inicial (CPV-ARI), areia rosa como o agregado miúdo e, brita 0 como agregado graúdo, como visto a seguir na Figura 7, Figura 8 e Figura 9, respectivamente.

Figura 7 – Cimento CPV – ARI.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 8 – Areia rosa



Fonte: Autores, 2018.

Figura 9- Brita 0



Fonte: Autores, 2018.

Para o concreto produzido com agregado reciclado, utilizaram-se os mesmos materiais citados anteriormente, porém substituiu-se parte do agregado natural pelo pedrisco reciclado, mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Pedrisco reciclado



Fonte: Autores, 2018.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Os parâmetros analisados foram: granulometria, massa específica, massa unitária e absorção, segundo as normas NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 53 (ABNT, 2009), NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 30 (ABNT, 2001) e NBR NM 53 (ABNT, 2009), respectivamente. Suas metodologias podem ser vistas no Apêndice A.

4.3 VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

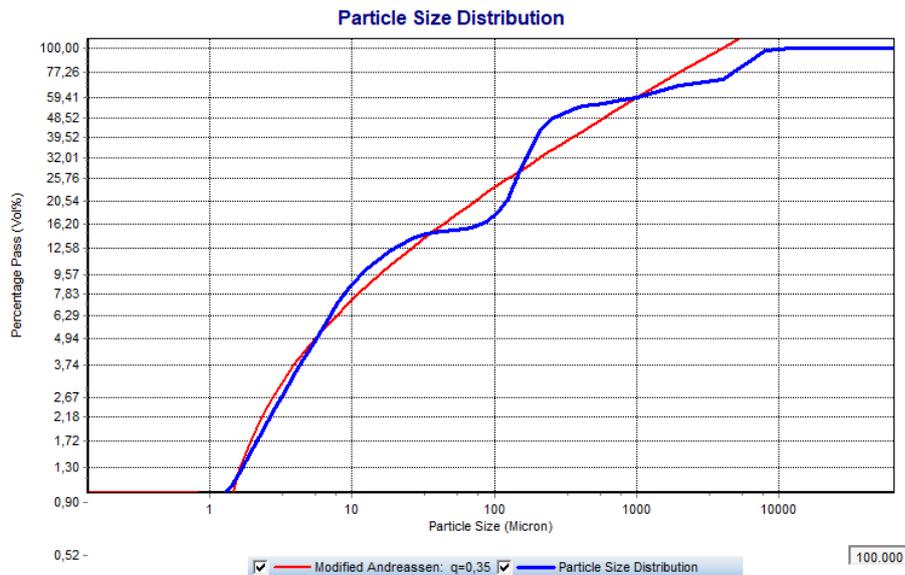
A etapa inicial do trabalho consistiu na verificação da eficiência do método de empacotamento de partículas, ou seja, foi analisado se a resistência à compressão e a trabalhabilidade do concreto melhoravam quando se utilizava essa metodologia. Então, foram desenvolvidos três traços: o primeiro para um concreto de referência (T1) que possuía somente agregado natural na sua formulação, o segundo para um concreto utilizando somente o pedrisco reciclado (T2) e, por fim, o terceiro que consistia num concreto com empacotamento de partículas e agregado reciclado (T3).

O traço do concreto consiste na determinação da proporção que será adicionada de cada material (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água) na produção do concreto, uma vez que essa relação afeta diversos parâmetros, como por exemplo, a resistência à compressão.

Assim, utilizou-se primeiramente o método do IBRACON para definir o traço do concreto de referência (T1) e do concreto com agregado reciclado sem o empacotamento de partículas (T2), sendo este 1:2:3:0,6. Contudo, a fim de melhorar a trabalhabilidade, decidiu-se alterar o fator água/cimento para 0,7.

Já para o concreto com agregado reciclado produzido com o método de empacotamento de partículas (T3), foi utilizado o software "EMMA", que fornece a curva granulométrica ideal de acordo com o modelo de empacotamento escolhido. Para este estudo, foi adotado o de Andreassen Modificado ou Alfred, citado no item 3.2, que gera a curva em vermelho mostrada na Figura 11. Então, colocam-se no programa as granulometrias do cimento, areia rosa e pedrisco reciclado, obtidas nos ensaios de caracterização, a fim de elaborar a curva experimental, vista em azul na Figura 11.

Figura 11 - Curvas elaboradas pelo software "EMMA"



Fonte: Autores, 2018.

Dessa forma, para resultar em um bom empacotamento, a curva em azul deve estar o mais próxima possível da vermelha e isso depende do coeficiente de empacotamento (q). A fim de obter o empacotamento máximo, o valor desse parâmetro deve ser 0,37, entretanto, esse coeficiente resultou em uma aproximação insatisfatória entre as curvas, por isso adotou-se q igual a 0,35. Além disso, outra variável deste programa são as proporções dos materiais. Assim, após o ajuste das mesmas, obteve-se o traço 1:2,5:2,6:0,7 e a configuração final dessas curvas pode ser vista na Figura 11.

A proporção final de cada traço pode ser vista na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Traços

Traço	Cimento	Areia	Brita 0	Brita reciclada	Água	Aditivo
T1	1	2	3	0	0,7	0,00%
T2	1	2	0	3	0,7	1,00%
T3	1	2,5	0	2,6	0,7	1,00%

Fonte: Autores, 2018.

4.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS DA PRIMEIRA ETAPA

Para a produção dos concretos, utilizaram-se a mesma sequência de procedimentos: primeiramente misturou-se o agregado graúdo com parte da água, então foi despejado o cimento para que esse material envolvesse a brita e, por fim, adicionou-se a areia e o resto da água. Para os concretos T2 e T3, acrescentou-se 1% do aditivo plastificante polifuncional, em relação à massa de cimento, para melhorar a trabalhabilidade.

É importante ressaltar que a ordem em que os componentes são colocados na betoneira influencia na qualidade do concreto, pois quando o cimento envolve o agregado graúdo forma-se uma ligação entre o agregado e a pasta de concreto. Além disso, evita-se a formação de aglomerações de cimento, já que sua massa está bem dispersa.

Dessa forma, uma vez que o concreto ficou pronto, realizou-se o teste de abatimento de cone segundo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). Sendo que os resultados obtidos foram: 55 mm para o concreto T1, 10 mm para o concreto T2 e 40 mm para o concreto T3, como mostram a Figura 12, Figura 13 e Figura 14, respectivamente.

Figura 12 - Resultado do Slump Test para o concreto T1



Fonte: Autores, 2018.

Figura 13 – Resultado do Slump Test para o concreto T2



Fonte: Autores, 2018.

Figura 14 – Resultado do Slump Test para o concreto T3



Fonte: Autores, 2018.

Segundo a Neville (1997), a Tabela 5 correlaciona a trabalhabilidade do concreto com o resultado do teste de abatimento. Dessa forma, para os concretos realizados, a trabalhabilidade é considerada média para os concretos T1 e T3 e muito baixa para o concreto T2.

Tabela 5 – Relação entre a trabalhabilidade do concreto e o teste de abatimento

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	15 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

Fonte: Autores, 2018.

Por fim, realizou-se a moldagem dos corpos de prova. Essa tarefa consiste em aplicar o desmoldante no cilindro metálico, de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, e colocar 2 camadas de concreto, sendo que o adensamento deste pode ser feito de forma manual com a aplicação de golpes, como foi realizado para os concretos T1 e T2, ou de forma mecânica com o mangote vibratório, como foi feito para o concreto T3. Então, alisou-se o topo com uma espátula e esperou-se por 24 horas até desmoldar.

Após a desmoldagem, realizou-se a cura dos corpos de prova, que tem como função vedar o concreto mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a sua retração. Este processo é fundamental para que haja a hidratação da pasta de cimento e a conexão estrutural molecular (DINIZ et al., 2015).

O método escolhido foi a cura submersa em água, que segundo Bauer (2008) é a maneira mais adequada. Esse mecanismo consiste em imergir os corpos de prova em um recipiente com água. Contudo a utilização desse procedimento é restrita por causa da falta de viabilidade para estruturas maiores.

4.5 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA PRIMEIRA ETAPA

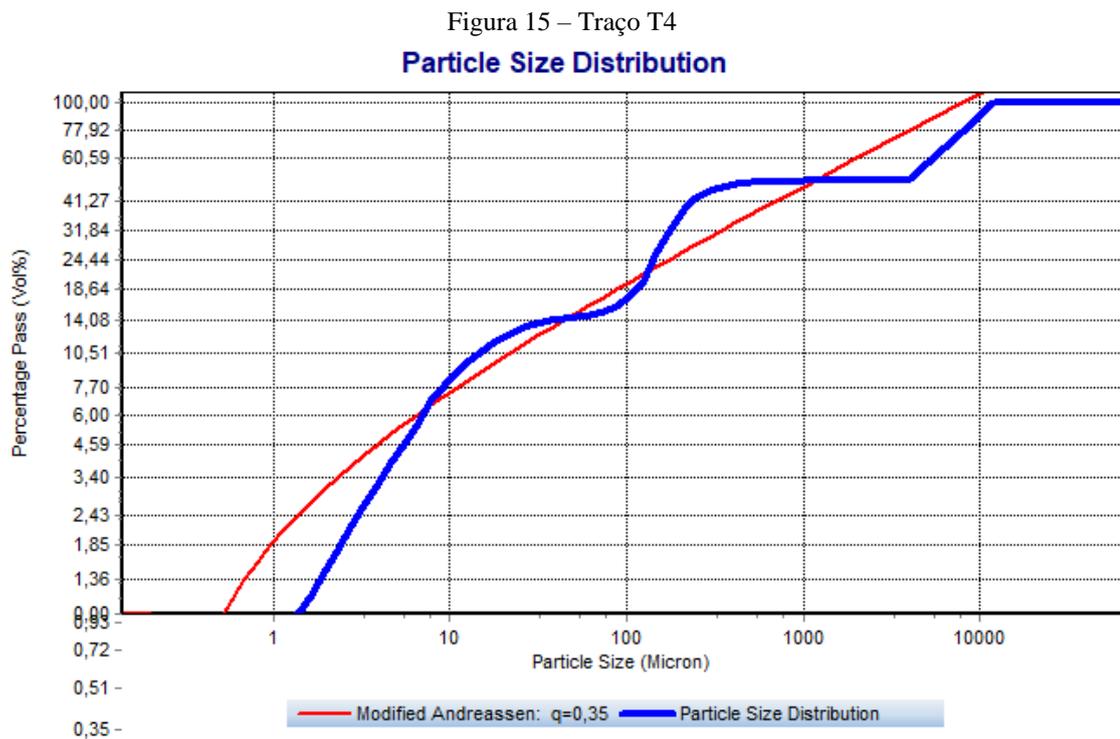
Para os três concretos realizados, os ensaios escolhidos para avaliar o desempenho de cada um foram: resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral, sendo que esses foram realizados nas idades de 3 e 7 dias dos corpos de prova.

4.6 SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO RECICLADO PELO NATURAL

A segunda etapa consistiu na análise do concreto com a substituição parcial do agregado natural pelo o reciclado. Utilizou-se novamente o software "EMMA" para determinar o

melhor traço, usando apenas o agregado natural. Para isso, foram inseridas no programa as granulometrias do cimento, areia rosa e brita 0, e determinadas as quantidades de cada um, a fim de elaborar a curva experimental como vista em azul na Figura 15.

Com o objetivo de manter a padronização do processo, o modelo de empacotamento utilizado foi novamente o Andreassen Modificado ou Alfred. Além disso, o coeficiente de empacotamento (q) foi mantido em 0,35.



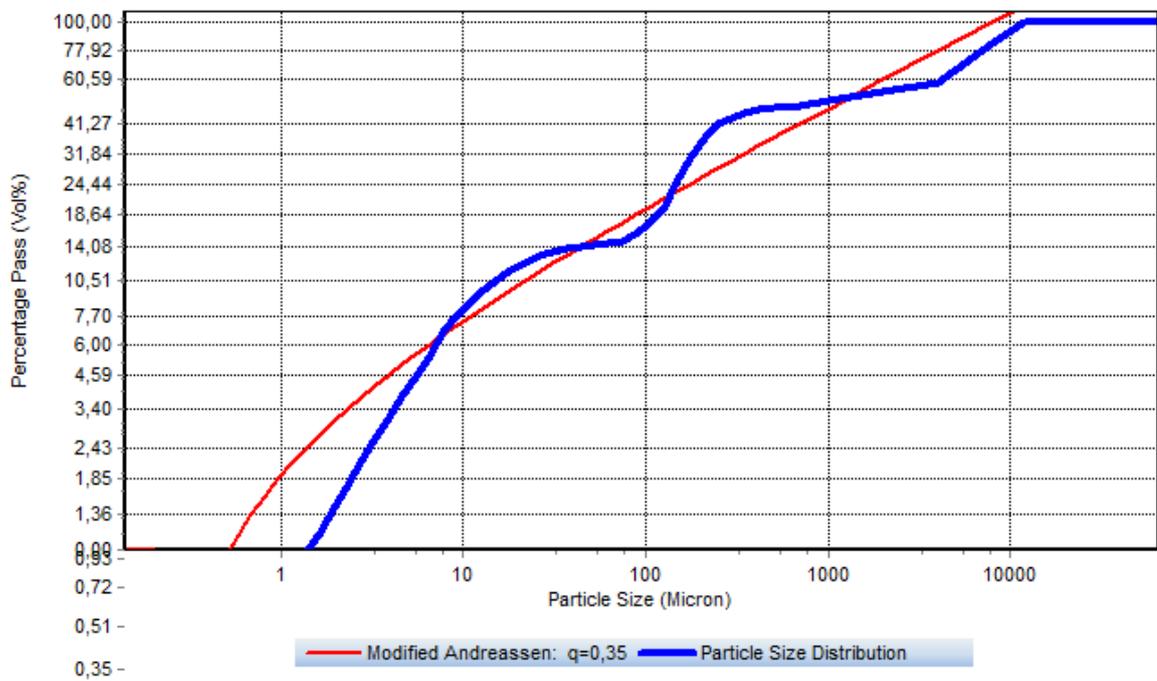
Dessa forma, obteve-se o traço 1:2:3,6:0,7, mantendo a relação água/cimento em 0,7. Então, foram estabelecidos os seguintes teores de substituição do agregado natural pelo reciclado: 0% (concreto T4), 25% (concreto T5), 50% (concreto T6), 75% (concreto T7), e 100% (concreto T8). Ou seja, para o concreto com 25% de substituição, por exemplo, a sua composição seria: para cada 1kg de cimento, iriam 2kg de areia rosa, 2,7kg de agregado natural e 0,9kg de agregado reciclado (totalizando 3,6kg de agregado graúdo, como obtido no traço). Os traços obtidos com todas as substituições feitas são mostrados na Tabela 6 e as curvas para os mesmo estão nas Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19.

Tabela 6 – Traços com substituição do agregado natural pelo reciclado

Traço	Cimento	Areia	Brita 0	Brita reciclada	Água
T4	1	2	3,6	0	0,7
T5	1	2	2,7	0,9	0,7
T6	1	2	1,8	1,8	0,7
T7	1	2	0,9	2,7	0,7
T8	1	2	0	3,6	0,7

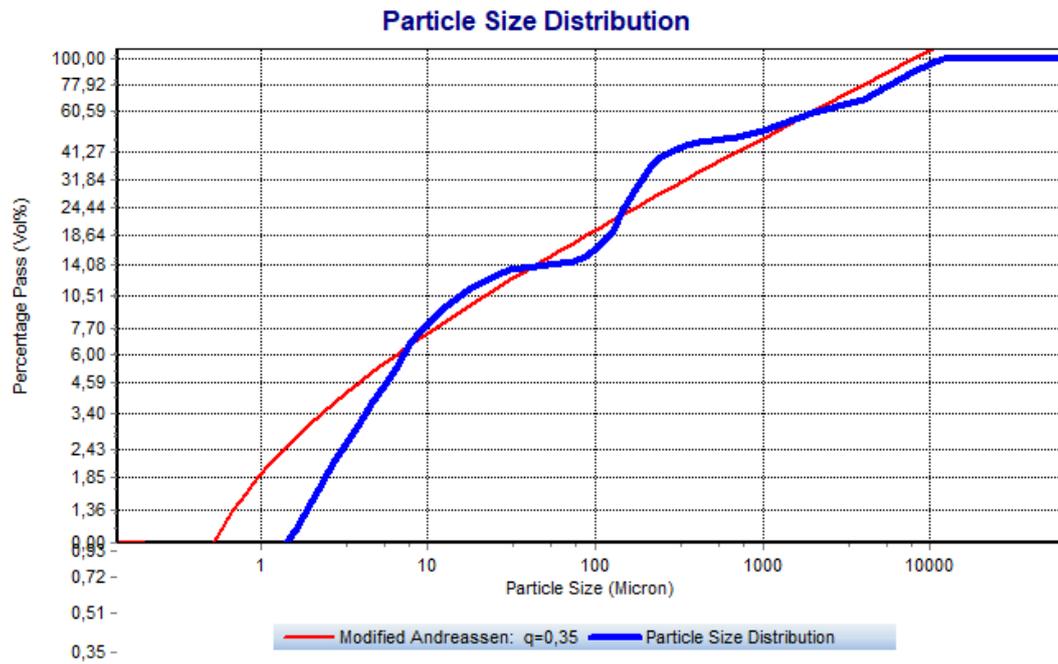
Fonte: Autores, 2018.

Figura 16 - Traço T5

Particle Size Distribution

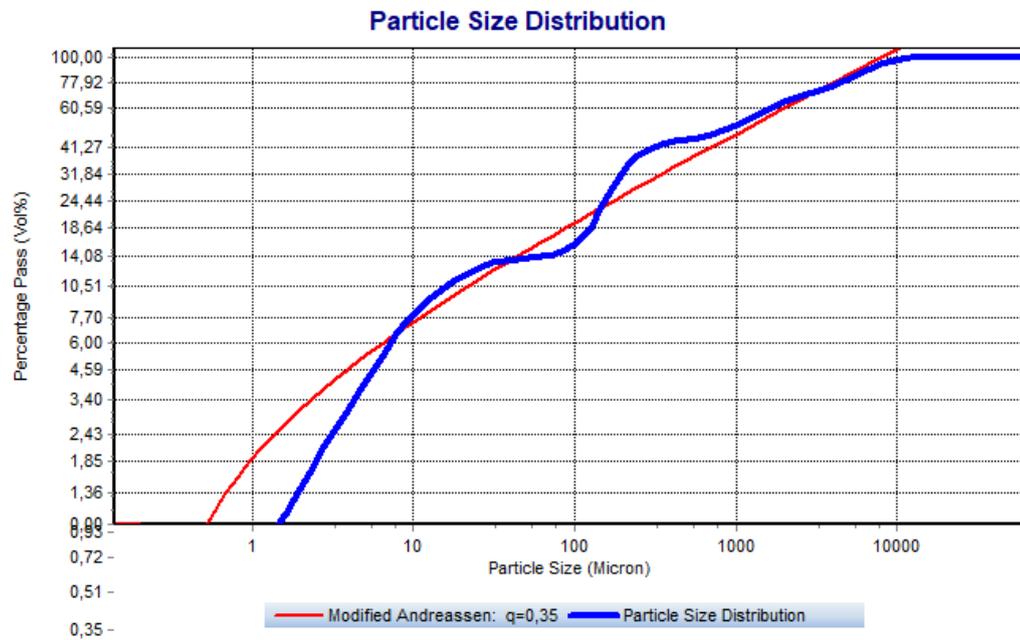
Fonte: Autores, 2018

Figura 17 - Traço T6



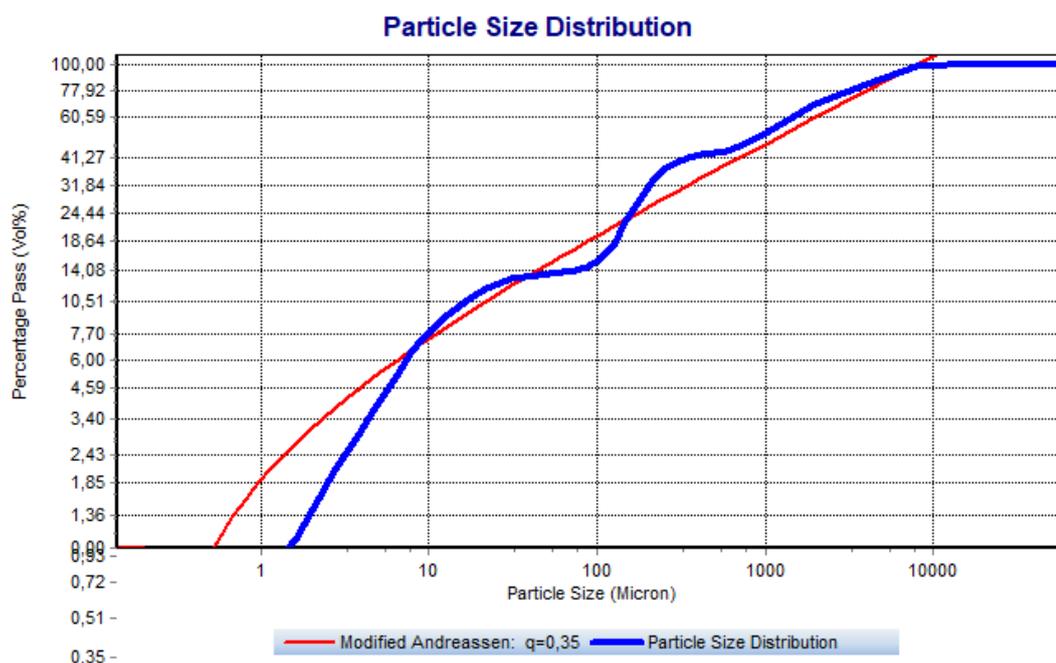
Fonte: Autores, 2018.

Figura 18 - Traço T7



Fonte: Autores, 2018.

Figura 19 - Traço T8



Fonte: Autores, 2018.

4.7 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS DA SEGUNDA ETAPA

A fim de padronizar os processos e restringir as variáveis que possam influenciar nos resultados, a produção dos concretos da segunda etapa foi semelhante à da primeira etapa. Entretanto, como o agregado reciclado utilizado contém muito material fino em sua composição, fato que se deve principalmente à sua forma de armazenamento no local de origem, optou-se por realizar o peneiramento manual deste material numa peneira de 3mm de abertura antes de iniciar a produção do concreto.

Além disso, o agregado reciclado foi deixado em contato com parte d'água total nos 10 minutos iniciais, pois esse material é mais poroso do que o natural. Esse procedimento evita que a trabalhabilidade seja muito prejudicada, pois o agregado reciclado úmido não absorve água da pasta do concreto. A partir disso, a ordem de mistura dos materiais se manteve a mesma, acrescentando-se 0,1% do aditivo plastificante polifuncional em relação à massa de cimento para todos os concretos, a fim de melhorar a trabalhabilidade.

O teste de abatimento do tronco de cone também foi realizado segundo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). Sendo que os resultados obtidos foram: fluído para o concreto T4, 60mm para o concreto T5, 40mm para o concreto T6, 45mm para o concreto T7 e 40mm para o concreto

T8, como mostram as Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24, respectivamente.

Figura 20 - Resultado do slump test para o concreto T4



Fonte: Autores, 2018.

Figura 21 - Resultado do slump test para o concreto T5



Fonte: Autores, 2018.

Figura 22 - Resultado do slump test para o concreto T6



Fonte: Autores, 2018.

Figura 23 - Resultado do slump test para o concreto T7



Fonte: Autores, 2018.

Figura 24 - Resultado do slump test para o concreto T8



Fonte: Autores, 2018.

Segundo a Tabela 5, mostrada no item 4.4, para os concretos produzidos, a trabalhabilidade é considerada muito alta para o concreto T4, e média para os concretos T5, T6, T7 e T8.

Já a moldagem dos corpos de prova também se manteve semelhante à da etapa anterior, aplicando-se o desmoldante no cilindro metálico e colocando-se 2 camadas de concreto, contudo para todos os concretos dessa etapa (T4, T5, T6, T7 e T8), o adensamento foi feito de forma mecânica com o mangote vibratório. Então, alisou-se o topo com uma espátula e esperou-se por 24 horas até desmoldar.

O método de cura também se manteve igual, consistindo em colocar os corpos de prova em um recipiente e imergi-los em água.

4.8 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DA SEGUNDA ETAPA

Para os cinco concretos produzidos, os ensaios escolhidos para avaliar o desempenho de cada um foram: resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral. Contudo, decidiu-se incluir as idades de 28, 63 e 91 dias, a fim de ampliar o tempo de análise e verificar qualquer possível influência do uso de agregado reciclado no concreto.

Dessa forma, para as idades de 3, 7, 28, 63 e 91 dias foram avaliados três corpos de prova, de cada concreto, com relação à resistência à compressão. Já para a resistência à tração por compressão diametral, foram avaliados três corpos de prova de cada concreto, mas somente na idade de 28 dias.

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

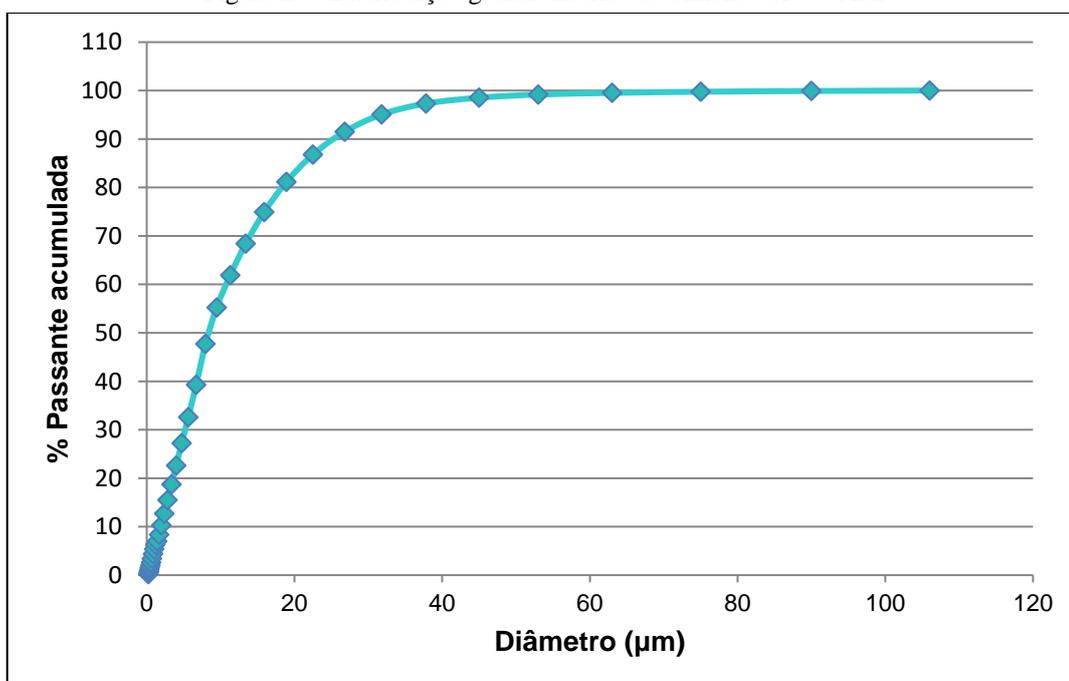
5.1.1 GRANULOMETRIA

As distribuições granulométricas dos materiais finos: cimento e areia rosa foram realizadas com auxílio de um granulômetro à laser, para maior precisão. Os resultados podem ser vistos na Figura 25 e na Figura 26, respectivamente. Já as granulometrias da brita 0 e do pedrisco reciclado foram feitas com peneiras em série, seus resultados podem ser vistos na Figura 27, na Figura 28 e Figura 29.

A granulometria do pedrisco reciclado variou ao longo das fases do trabalho, uma vez que na segunda fase, para que houvesse a substituição parcial do agregado natural pelo reciclado, foi feito o peneiramento do pedrisco numa malha de 3mm, a fim de reduzir a quantidade de partículas finas já que este material seria utilizado como agregado graúdo.

- **Cimento**

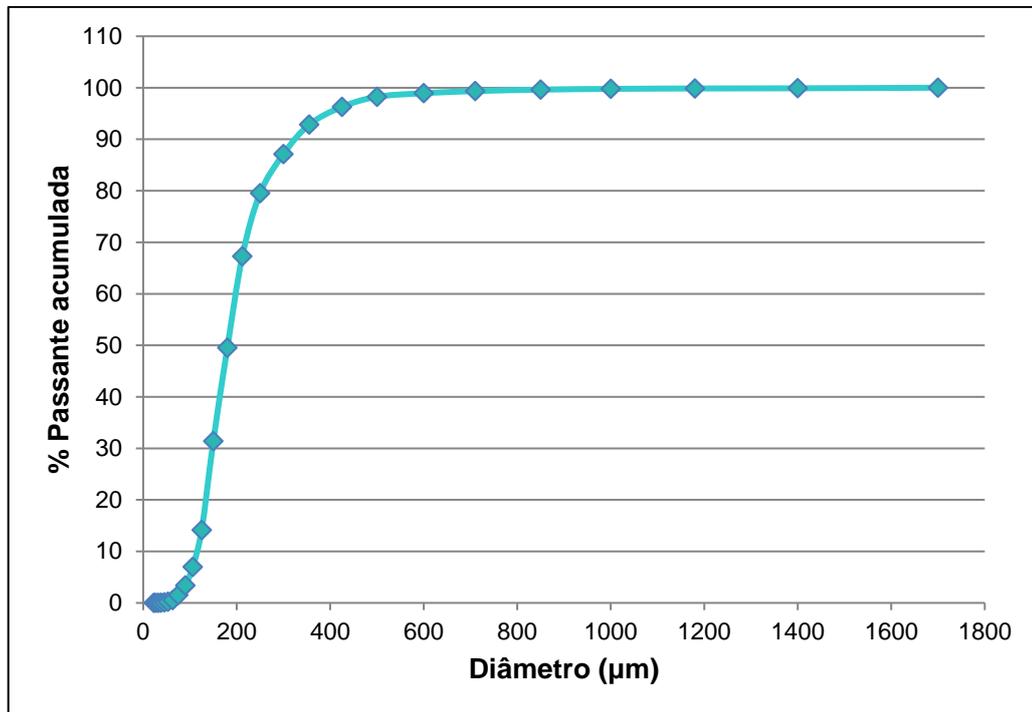
Figura 25 - Distribuição granulométrica do cimento CPV - ARI



Fonte: Autores, 2018.

- **Areia rosa**

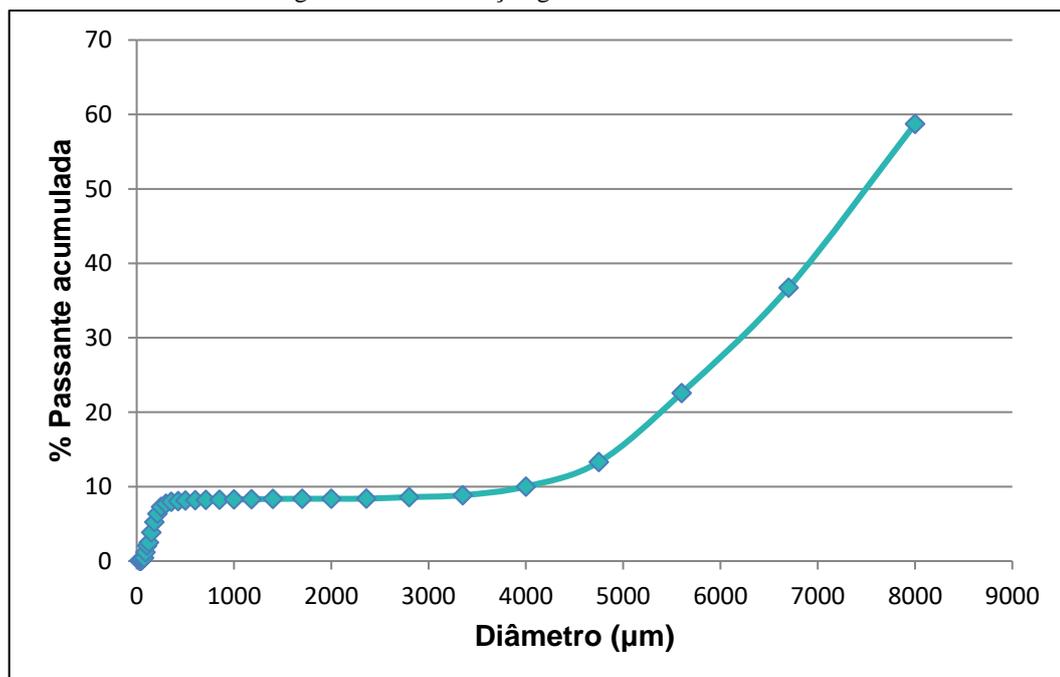
Figura 26 - Distribuição granulométrica da areia rosa



Fonte: Autores, 2018.

- **Brita 0**

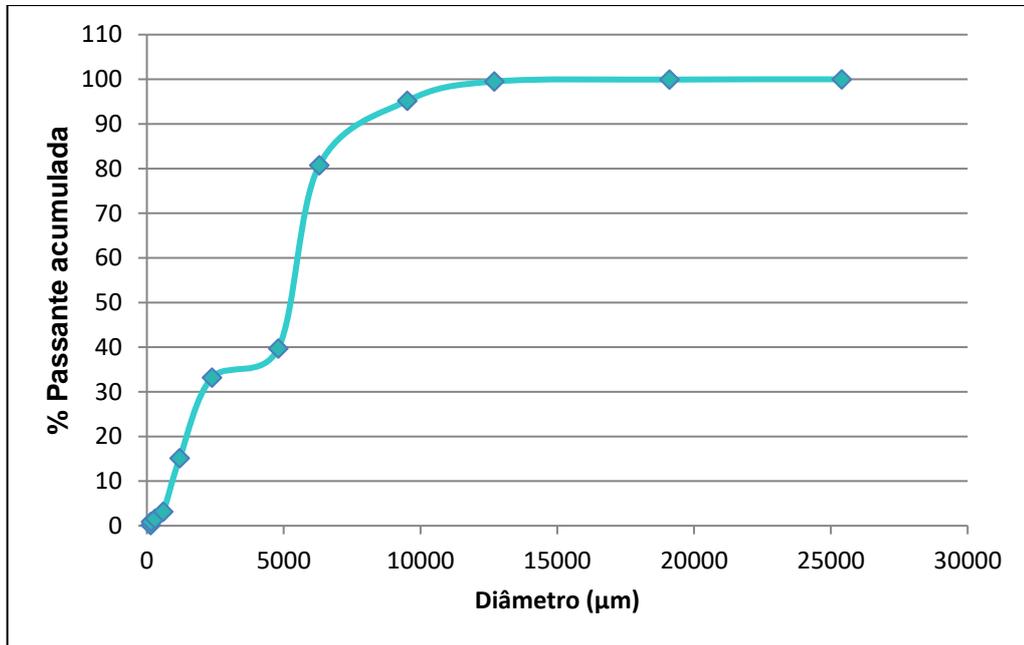
Figura 27 - Distribuição granulométrica da brita 0



Fonte: Autores, 2018.

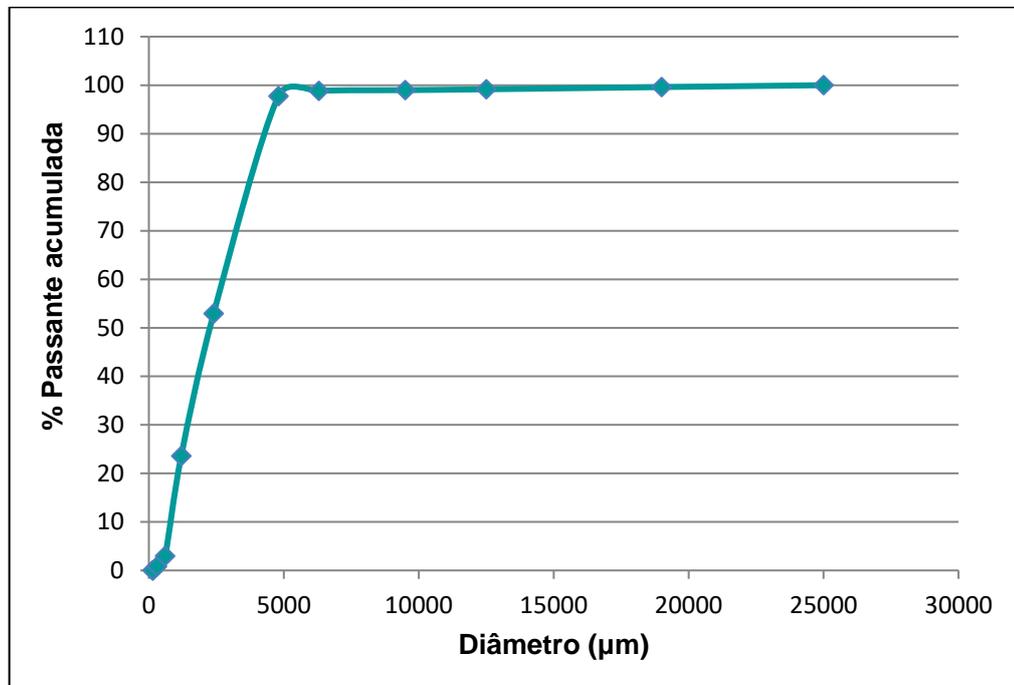
- **Pedrisco reciclado**

Figura 28 - Distribuição granulométrica do pedrisco reciclado – Etapa 1



Fonte: Autores, 2018.

Figura 29 - Distribuição granulométrica do pedrisco reciclado - Etapa 2



Fonte: Autores, 2018.

5.1.2 MASSA ESPECÍFICA

A determinação da massa específica dos materiais, apresentada na Tabela 7, foi realizada conforme as normas NBR NM 52 (ABNT, 2009) e a NBR NM 53 (ABNT, 2009). Comparando-se os valores dos agregados graúdos, o pedrisco reciclado obteve menor massa específica, uma vez que é mais poroso.

Tabela 7 - Massa específica dos materiais utilizados

Massa específica (kg/m³)	
Areia rosa	2,639
Cimento CPV - ARI	2,771
Brita 0 (pedrisco)	3,448
Pedrisco reciclado – Etapa 1	2,439
Pedrisco reciclado – Etapa 2	2,381

Fonte: Autores, 2018.

5.1.3 MASSA UNITÁRIA

A determinação da massa unitária dos materiais, apresentada na Tabela 8, foi realizada conforme a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). O resultado do pedrisco reciclado também foi inferior ao da brita 0, pelo mesmo fato apresentado no item 5.1.2.

Tabela 8 - Massa unitária dos materiais utilizados

Massa unitária (kg/m³)	
Areia rosa	360,67
Cimento CPV - ARI	125,50
Brita 0 (pedrisco)	1264,52
Pedrisco reciclado – Etapa 1	1213,25
Pedrisco reciclado – Etapa 2	1274,40

Fonte: Autores, 2018.

5.1.4 ABSORÇÃO

A determinação da absorção de água dos materiais, apresentada na Tabela 9, foi realizada conforme as normas NBR NM 30 (ABNT, 2001) e NBR NM 53 (ABNT, 2009). Importante ressaltar que o cimento não pode ser avaliado uma vez que reage com a água.

Como foi explicitado nos itens anteriores, o pedrisco reciclado é mais poroso, logo absorve mais água, comparando-se com a brita 0.

Tabela 9 - Absorção de água dos materiais utilizados

Absorção de água (%)	
Areia rosa	0,289
Brita 0 (pedrisco)	0,588
Pedrisco reciclado – Etapa 1	19,600
Pedrisco reciclado – Etapa 2	15,044

Fonte: Autores, 2018.

5.2 ESTUDO PRELIMINAR

O estudo preliminar consistiu na validação do método de empacotamento de partículas com a realização dos traços descritos na Tabela 4 do Item 4.3. Assim, a Figura 30 mostra a comparação entre os concretos T2 e T3, evidenciando a melhoria no adensamento que o empacotamento de partículas e uso do mangote vibratório gerou.

Figura 30 - Comparação entre os corpos de prova dos concretos T2 (à esquerda) e T3 (à direita)

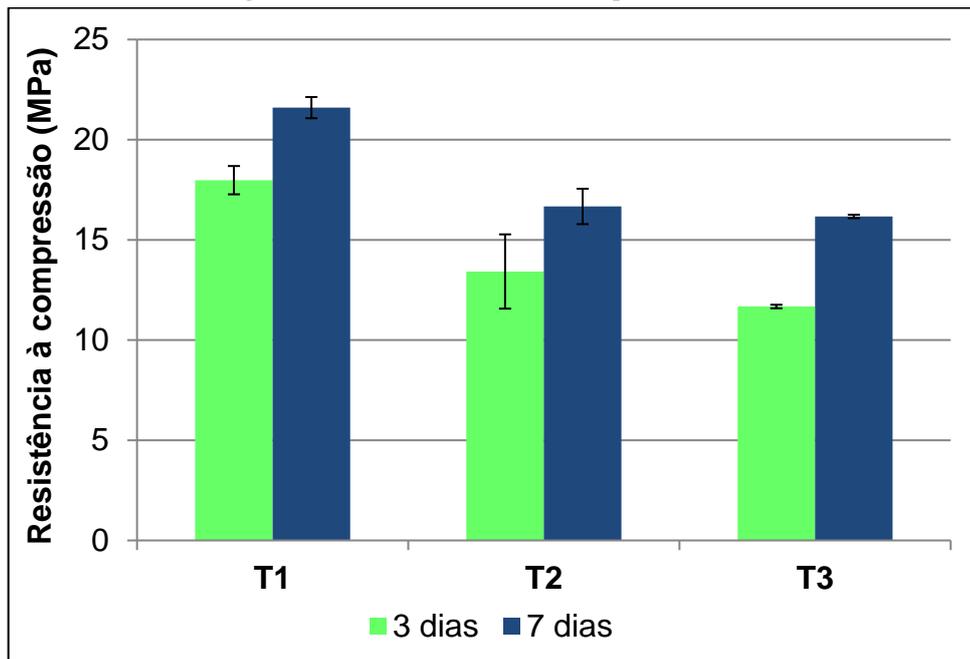


Fonte: Autores, 2018.

5.2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme a norma NBR 5739 (2007) e obtiveram os resultados descritos na Figura 31. Para melhor precisão dos resultados, descartou-se a resistência que mais se afastava das outras duas. Os resultados completos podem ser vistos na Tabela 15 localizado no Apêndice B.

Figura 31 - Resistência média à compressão (MPa)



Fonte: Autores, 2018.

Para os corpos de prova de 3 dias e 7 dias de idade, o concreto de referência obteve maior resistência à compressão. Além disso, comparando-se os concretos com agregado reciclado, o T2 obteve maior resistência média em relação ao T3, porém ao analisar o alto desvio padrão do T2, pode-se considerar essas resistências semelhantes.

A seguir, é possível observar como ocorreu a ruptura nos corpos de prova e o interior do concreto com agregado reciclado, como mostra a Figura 32, a Figura 33 e a Figura 34.

Figura 32 - Corpo de prova do o traço T1



Fonte: Autores, 2018

Figura 33 - Corpo de prova T1 rompido



Fonte: Autores, 2018.

Figura 34 - Interior do corpo de prova T2

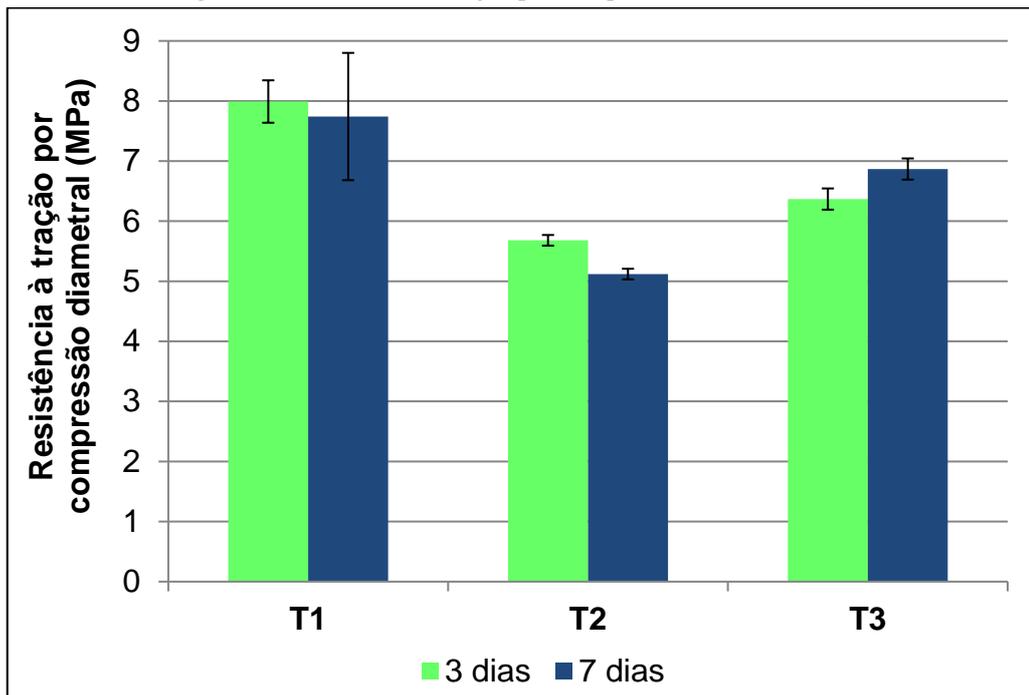


Fonte: Autores, 2018.

5.2.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram realizados conforme a norma NBR NM 8 (ABNT, 1994) e seus resultados podem ser vistos na Figura 35. Para melhor precisão dos resultados também foi descartado o valor da resistência mais discrepante e os resultados completos se encontram na Tabela 16 no Apêndice B.

Figura 35 - Resistência à tração por compressão diametral (MPa)



Fonte: Autores, 2018.

Para os corpos de prova de 3 dias de idade, o concreto de referência (T1) atingiu resistência à tração por compressão diametral superior aos outros dois e o concreto T3 obteve resistência superior ao concreto T2. Já para os corpos de prova de 7 dias de idade, ao considerar o desvio padrão, o concreto T1 teve resistência semelhante ao T3, porém, ambas superiores ao concreto T2.

A seguir, pode-se notar como ocorreu a ruptura nos corpos de prova e a marca da deformação que os mesmos sofreram como mostram a Figura 36, a Figura 37 e a Figura 38.

Figura 36 - Corpo de prova do concreto T1 na prensa



Fonte: Autores, 2018.

Figura 37 - Corpo de prova do concreto T2 rompido



Fonte: Autores, 2018.

Figura 38 - Deformação no corpo de prova do concreto T2



Fonte: Autores, 2018.

5.2.3 CONSUMO DE CIMENTO

O consumo de cimento dos concretos foi determinado a partir da Lei de Molinari, citada no item 3.3. Os resultados obtidos, descritos na Tabela 10, evidenciam que o uso do agregado reciclado e do empacotamento de partículas reduziu em 13% o consumo de cimento em relação ao concreto de referência.

Tabela 10 - Consumo de cimento de acordo com o tipo de concreto

Traço	Consumo de cimento (kg/m³)
T1	371,91
T2	327,99
T3	325,27

Fonte: Autores, 2018.

5.2.4 ÍNDICE DE LIGANTES

Os índices de ligantes para os concretos realizados foram obtidos a partir da fórmula apresentada no item 3.4. A Tabela 11 mostra os resultados obtidos, sendo que para 7 dias os índices reduziram, uma vez que a resistência aumentou. Além disso, o concreto T3, aos 7 dias de idade, possuiu o menor índice de ligantes, evidenciando a melhoria da eco-eficiência do concreto com o uso agregado reciclado e empacotamento de partículas.

Tabela 11 - Índice de ligantes

Índice de ligantes (kg.m⁻³.Mpa⁻¹)		
Traço	3 dias	7 dias
T1	20,68	17,22
T2	24,44	19,68
T3	27,86	16,17

Fonte: Autores, 2018.

5.3 ENSAIOS FINAIS

A análise da substituição parcial do agregado natural pelo reciclado foi feita a partir dos traços apresentados na Tabela 6 do Item 4.6. Dessa forma, a Figura 39 mostra o interior dos corpos de prova rompidos por compressão diametral, sendo possível identificar a presença do agregado reciclado, como por exemplo, as partículas de cerâmica na cor laranja.

Figura 39 - Interior dos corpos de prova T4, T5, T6, T7 e T8, da esquerda para direita

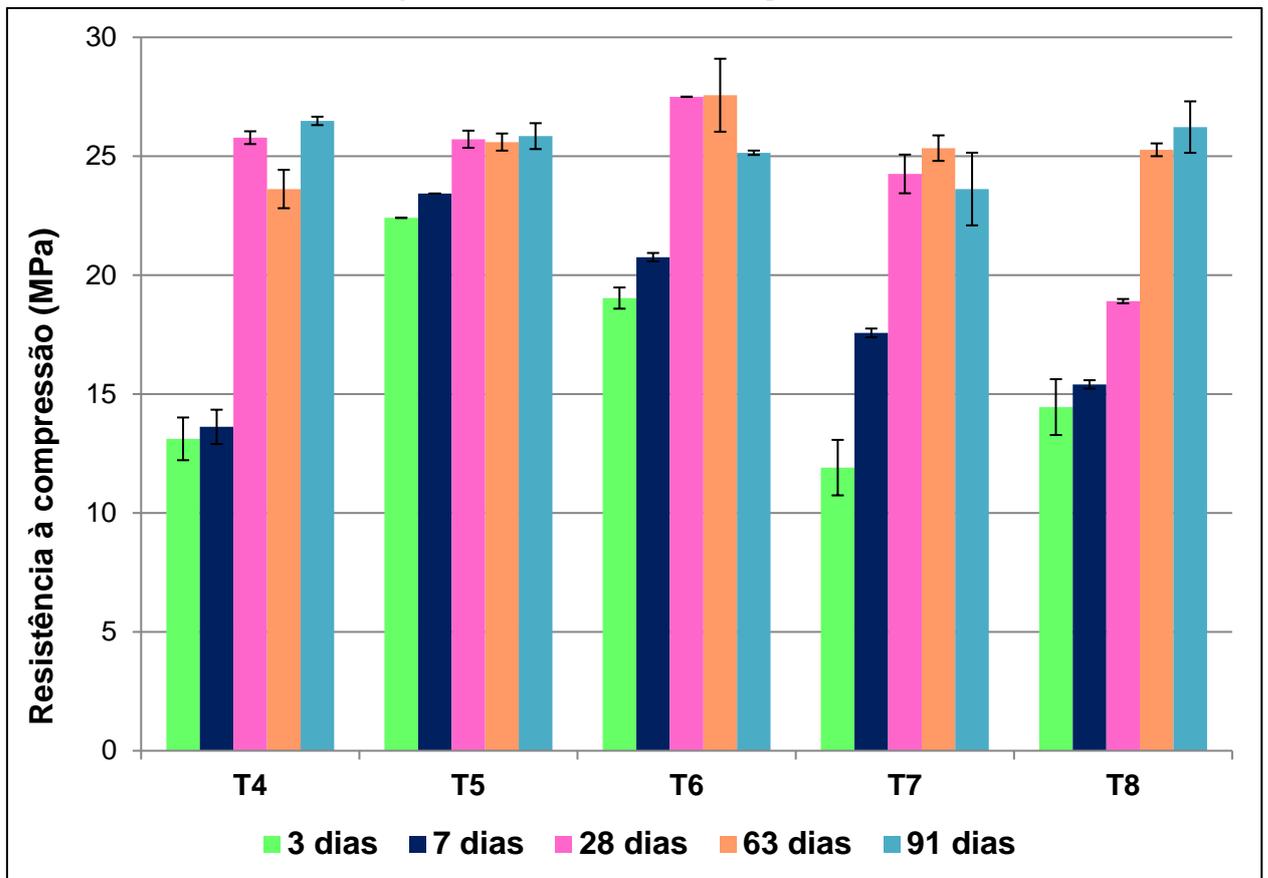


Fonte: Autores, 2018.

5.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão da segunda etapa foram realizados da mesma forma que na etapa inicial e apresentaram os resultados descritos abaixo, na Figura 40 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Também foi descartada a resistência que mais se afastava das outras duas. Os resultados completos podem ser vistos na Tabela 17, localizado no Apêndice B.

Figura 40 - Resistência média à compressão



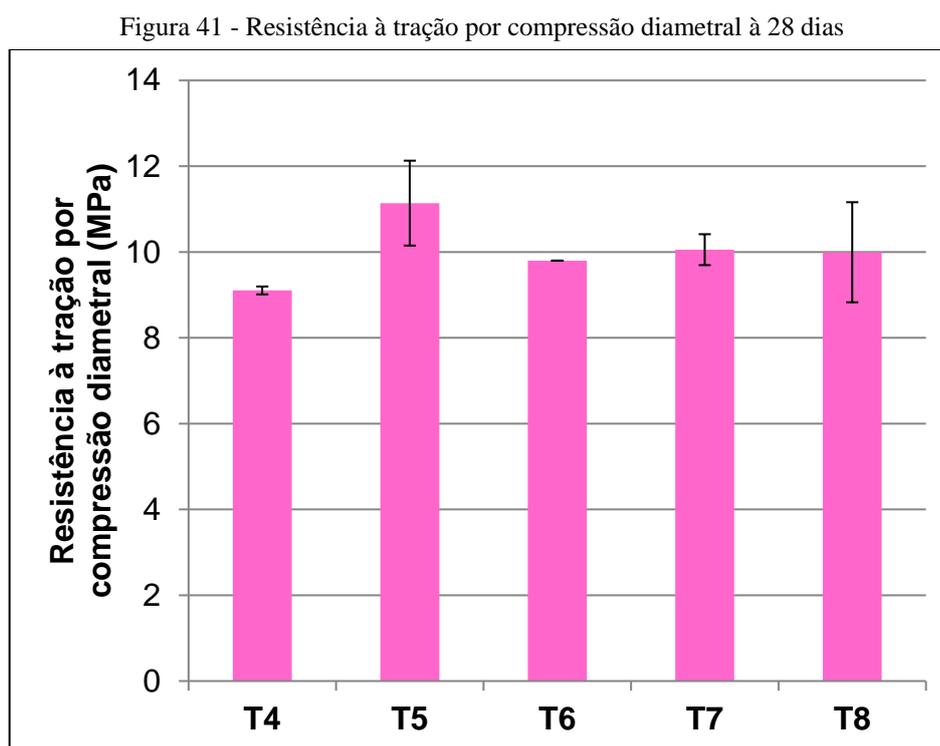
Fonte: Autores, 2018.

Para os resultados obtidos na idade de 3 dias, percebe-se que os concretos T5 e T6 apresentaram as maiores resistências, enquanto o T4 e o T7 obtiveram valores próximos e as menores resistências. Para 7 dias, os concretos tiveram um pequeno aumento na sua resistência, exceto o concreto T7 que teve um ganho de 5MPa aproximadamente. Para 28 dias, teve um aumento na resistência dos concretos, sendo que o maior ganho foi para o T4 com mais de 10MPa. Já para 63 dias, percebe-se que as resistências ficaram quase iguais para todos os concretos, considerando o desvio padrão.

É possível observar que quanto maior a idade, menor a diferença entre as resistências dos concretos. Além disso, os concreto com 25% e 50% de substituição do agregado natural apresentaram o melhor desempenho para as 4 idades estudadas.

5.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral também foram realizados conforme a etapa inicial e apresentaram os resultados descritos abaixo, na Figura 41. Descartou-se também a resistência que mais se afastava das outras duas. Os resultados completos podem ser vistos na Tabela 18, localizado no Apêndice B. Além disso, como visto na etapa inicial, os resultados de resistência à tração por compressão diametral não variaram muito conforme as diferentes idades, portanto, decidiu-se romper os corpos de provas apenas na idade de 28 dias.



Fonte: Autores, 2018.

As resistências à tração por compressão diametral foram praticamente as mesmas, em torno de 10 MPa, exceto para o concreto T4 que foi ligeiramente mais baixa. Entretanto, deve-se considerar que os concretos T5 e T8 tiveram grandes desvios padrões.

5.3.3 CONSUMO DE CIMENTO

O consumo de cimento dos concretos foi determinado a partir da Lei de Molinari, citada no item 3.3. Os resultados obtidos, descritos na Tabela 12, evidenciam que quanto maior a porcentagem de agregado reciclado no concreto, menor é o consumo. Comparando-se o concreto T4 com o T8, houve redução de aproximadamente 45kg de cimento por 1 metro cúbico de concreto.

Tabela 12 - Consumo de cimento

Consumo de cimento (kg/m³)	
T4	349,30
T5	336,61
T6	324,80
T7	313,79
T8	303,51

Fonte: Autores, 2018.

5.3.4 ÍNDICE DE LIGANTES

Os índices de ligantes para os concretos foram obtidos da mesma forma, a partir da fórmula apresentada no item 3.4. Os resultados obtidos na Tabela 13 evidenciam que o índice de ligantes tende a diminuir conforme aumenta a idade do concreto, uma vez que este parâmetro é inversamente proporcional à resistência. Além disso, pode-se notar que o valor obtido aos 28 dias para o concreto T8 foi inferior à $18\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{MPa}^{-1}$, visto no item 3.4. Entretanto, o índice de ligantes do concreto T4 aos 28 dias foi próximo ao esperado.

Os baixos valores dos índices de ligantes para os concretos reciclado em idades avançadas pode ser consequência do aumento de resistência que a atividade pozolânica gera. Isso ocorre pois os agregados reciclados possuem materiais cerâmicos em sua composição responsáveis pela reatividade pozolânica (LIMA, 1999).

O concreto T5 apresentou os melhores resultados para 3 e 7 dias. Enquanto, para 28 e 63 dias, o T6 obteve a melhor performance. Logo, a substituição em 50% de agregado natural pelo reciclado gerou o concreto mais eco-eficiente teve um bom desempenho em todas as idades.

Tabela 13 - Índice de ligantes

Índice de ligantes (kg.m⁻³.Mpa⁻¹)					
Traço	3 dias	7 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T4	26,63	25,65	13,55	14,79	13,19
T5	15,02	14,37	13,09	13,15	13,02
T6	17,06	15,65	11,81	11,78	12,92
T7	26,36	17,86	12,94	12,38	13,28
T8	21,00	19,70	16,05	12,01	11,57

Fonte: Autores, 2018.

5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Em relação à questão econômica, pode-se ver os preços da brita natural 0 e do pedrisco reciclado na Tabela 14 abaixo. Percebe-se que cada metro cúbico de pedrisco reciclado é 46% mais barato em relação à brita natural. Entretanto, esse valor não representa a redução no custo final para a produção de concreto, uma vez que deve-se considerar a mão de obra especializada empregada e os processos adicionais necessários para o uso do agregado reciclado. Por exemplo: a utilização do software para gerar o traço do concreto a partir do empacotamento de partículas e o peneiramento dos materiais finos.

Tabela 14 - Custos dos materiais em São Paulo

Material	Preço	Unidade	Fonte
Brita 0	R\$ 56,69	1 m ³	SINAPI
Pedrisco reciclado	R\$ 33,00	1 m ³	Urbem

Fonte: Caixa Econômica Federal e Urbem Tecnologia Ambiental

6. CONCLUSÃO

A primeira fase do trabalho consistiu na verificação da eficiência do método de empacotamento de partículas aplicado junto ao uso de agregado reciclado na elaboração do concreto. Dessa forma, a partir dos ensaios realizados pode-se observar que não houve grandes melhorias na resistência à compressão, uma vez que não houve um empacotamento tão eficiente.

Todavia, pode-se constatar que a aplicação da metodologia do empacotamento auxiliou na melhora da trabalhabilidade, na redução do consumo de cimento e na melhoria da eco-eficiência do concreto, comprovada a partir do índice de ligantes. Além disso, percebeu-se que o índice de vazios diminuiu se analisada a face externa do corpo de prova, porém não foi possível concluir se isto se deve ao empacotamento ou ao uso do mangote vibratório durante o adensamento.

Já a segunda etapa do trabalho estudou-se a substituição parcial do agregado natural pelo agregado reciclado, empregando-se o empacotamento de partículas. Também foram padronizados os processos de produção dos concretos a fim de reduzir a variabilidade dos resultados. Então, a partir dos ensaios de resistência à compressão, pode-se notar que aos 7 dias de idade a resistência decresceu conforme o aumento de substituição de agregado reciclado pelo natural nos concretos T5, T6, T7 e T8. Enquanto aos 63 dias, a resistência praticamente igualou-se entre esses quatro concretos, sendo que isso pode ter ocorrido por causa da atividade pozolânica dos materiais cerâmicos presentes no agregado reciclado.

O concreto T4, por sua vez, obteve valores de resistência reduzidos possivelmente por causa da consistência fluida resultante, quase ocorrendo a desagregação entre os agregados graúdos e a pasta. Entretanto, como o objetivo era padronizar os procedimentos realizados, a relação água/cimento e a colocação de aditivo mantiveram-se iguais para todos os concretos.

O consumo de cimento reduziu conforme o uso da metodologia de empacotamento de partículas e a substituição do agregado natural pelo reciclado aumentou. Contudo, o índice de ligantes obteve o melhor resultado para o concreto com 50% de substituição, gerando a melhor eco-eficiência entre os concretos analisados.

A redução do preço da brita reciclada com relação à natural não implica na redução do custo final do concreto, uma vez que existem alguns procedimentos necessários que podem encarecer o processo. Entretanto, a viabilidade de empregar-se o agregado reciclado na produção do concreto aumenta com o treinamento de mão de obra especializada e ensaios de caracterização para análise prévia das propriedades dos agregados.

REFERÊNCIAS

AIQIN, W.; CHENGZHI, Z.; NINGSHENG, Z. **Study of the influence of the particle size distribution on the properties of cement.** Cement and Concrete Research. v. 27, n. 5, p. 685-695. 1994

AIQIN, W.; CHENGZHI, Z.; NINGSHENG, Z. **The theoretic analysis of the influence of the particle size distribution of cement system on the property of cement.** Cement and Concrete Research. v. 29, n. 11, p. 1721-1726. 1999

ÂNGULO, S. C. et al. **On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete.** Materials and Structures, n.43, p.519-528, 2010.

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade dos agregados graúdos de resíduo de construção e demolição reciclados.** 2000. Dissertação - Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015.** 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de provas cilíndricos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2001.

____. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2006

____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1998.

____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

BARRA, M. **Estudio de La durabilidade del hormigón de árido reciclado en su aplicación como homigón armado.** Barcelona, 1996. 223 p. Tese (doutorado). Escola técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de La Catalunya.

BAUER, L. A. F. **Materiais da construção.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BEGUN, R.A. et al. **A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: the case of Malaysia.** *Resources, Conservation and Recycling*, v.. 48, p. 86-98, 2006.

BELATO, M. N. **Análise da geração de poluentes na produção de cimento Portland com o coprocessamento de resíduos industriais.** Tese de Mestrado. 2013. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/795?locale-attribute=pt_BR>.

Acessado em 03/06/2018

BENITE, A. **Emissões de carbono e a construção civil**. Disponível em: <<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>.

Acessado em 29/03/2018.

BRASILEIRO, L. L., MATOS J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Teresina. 2015.

BOSOAGA, A., MASEK, O., OAKLEY, J. E. **CO₂ Capture Technologies for Cement Industry**. Energy Procedia, Elsevier, v. 1, p. 133-140, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610209000216>>. Acessado em 03/06/2018.

CAIXA ECONÓMICA FEDERAL. **Tabela Sinapi**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664>.

Acessado em 22/10/2018.

CIESLAK, M. e GRZYBOWSKI, T. **Análise experimental comparativa entre concretos de pós reativos dosados pelos modelos de Alfred e Andreasen**. 2012. Tese de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

DAMINELI, B. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Influência do empacotamento e dispersão de partículas no consumo de cimento de concretos**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. Volume 10, n.5, p. 998 – 1024. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952017000500998&script=sci_arttext&tlng=pt>.

Acessado em 03/06/2018

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DE LARRARD, F. **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach**. Modern Concrete Technology Series, vol. 9, E&FN SPON, London, 1999.

DE LARRARD, F. E BUIL, M. **Granularité et compacité dans les matériaux de génie civil.** Matériaux et Construction RILEM, Vol. 20, 117-126,1987.

DE LARRARD, F; SEDRAN, T. **Optimization of ultra-highperformance concrete by the use of a packing model,** Cement and Concrete Research. v. 24, n. 6, p. 997-1009. 1994

ELKEM SILICON MATERIALS. **Software EMMA.** Disponível em: <<https://www.elkem.com/silicon-materials/high-performance-concrete/>>. Acessado em 29/03/2018

EUROPEAN COMMISSION (EC). **Management of construction and demolition waste.** 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_pt>

FABRO, F.;GAVA, G. P.; GRIGOLI, H. B.; MENEGHETTI, L.C. **Emprego de pó de brita proveniente de diferentes britadores na produção de concreto.** Concreto & Construções. v. 65, p. 30, mar. 2012.

FABRO, F.;GAVA, G. P.; GRIGOLI, H. B.; MENEGHETTI, L.C. **Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto.** Revista IBRACON de estruturas e materiais. v. 4, n.2, p. 207, jun. 2011.

FORMAGINI, SIDICLEI. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho.** Tese de Doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

FREIRE, D. **Especialistas discutem papel na indústria do cimento nas emissões de CO2.** Junho de 2016. Disponível em:<http://agencia.fapesp.br/especialistas_discutem_papel_da_industria_do_cimento_nas_emissoes_de_co2/23449/>. Acessado em 29/03/2018.

FUNK, J. E.; DINGER, D. R. **Predictive process control of crowded particulate suspensions applied to ceramic manufacturing.** Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1994, 765p.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em:<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf>. Acessado em 29/03/2018.

KNIGHTS, J. **Relative performance of high quality concrete containing recycled aggregates and their use in construction**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 275-286.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 1999. 246p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MAUTLZSCH, M.; MELLMANN, G. **Properties of large scale processed building rubble with respect to the reuse as aggregate in concrete**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*. London: Thomas Telford Pub., 1998. P.99-107

NETO, J.C.M. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

NILSEN, A. R. **Combustion of large solid fuels in cement kilns**. 2012. 868 p. Tese (Ph.D.) – Departamento de Engenharia Química e Bioquímica, Technical University of Denmark, Lyngby, 2012.

OLIVEIRA, C. O. ; **Análise das Propriedades Reológicas de Materiais Cimentícios Associando o Conceito de Empacotamento de Partícula**. 2013. 142 p. Dissertação de Mestrado. UNESP, Ilha Solteira, 2013.

OLIVEIRA, M. E. D; SALES, R. J. M.; OLIVEIRA, L. A. S.; CABRAL, A. E. B. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. Nota técnica. Fortaleza, 2011.

PINTO, T.P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 203 p. Tese de Doutorado em Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999

RAHAL, K. **Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. Building and Environmental**, v. 42, p. 407-415, 2007.

SANTOS, M.F.N., BATTISTELLE, R. A. G., HORI, C. Y., JULIOTI, P. S. **GEPROS - Gestão da produção, operações e sistemas**. 2011.

SCHMIDT, E. P.; CARAVELAS, R. S. R. **Aplicação do método de empacotamento de partículas para redução do consumo de cimento em CAD**. 2013. Tese de Conclusão de Curso. Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul. 2013.

SEDRAN, T. **Rhéologie et Rhéométrie des Bétons**. Application aux Bétons Autonivelants. Doctoral Thesis of Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. **Relatório anual**. 2011. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2011.pdf>. Acessado em 03/06/2018

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D.; SOUTO, S. B. G. **Agregado reciclado: um novo material da construção civil**, v.18, n1 . Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

STOVALL, T., DE LARRARD, F. AND BUIL, M. **Linear Packing Density Model of Grain Mixtures**. Powder Technology, Volume 48, Issue 1, September 1986, Pages 1-12.

TAM, V.W.Y.; TAM, C.M. **A review on the viable technology for construction waste recycling. Resources, Conservation and Recycling.** v. 47, p. 209-221, 2006.

TERRY, M. **Waste minimization in the construction and demolition industry. 78p. Capstone Project** (Thesis of Bachelor of Civil & Environmental Engineering) – Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney, Sydney, 2004.

VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos : dosagem e propriedades mecânicas.** Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de S. Carlos, Universidade de S. Paulo, S. Carlos, São Paulo, 2004.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050.** WBCSD, 2009. p. 2. Disponível em: <http://wbcsdpublications.org/project/cement-technology-roadmap-2009-carbon-emissions-reductions-up-to-2050/>. Acessado em 03/06/2018

APÊNDICE A

- **Granulometria de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003)**

A granulometria é a proporção relativa, representada em porcentagem, do tamanho dos grãos que constituem o material. A areia rosa (agregado miúdo) e o cimento tiveram as suas granulometrias determinadas com o auxílio de um granulômetro a laser para maior precisão.

Já a granulometria do pedrisco reciclado (agregado graúdo) foi realizada por peneiramento, sendo que primeiramente o material passou pelo equipamento com as peneiras de maior abertura, com diâmetros de 25,4; 19,1; 12,7; 9,52; 6,35 e 4,76mm respectivamente, como visto na Figura 42 e, depois, pelo conjunto de peneiras com menor abertura, com diâmetros de 6,3; 4,8; 2,38; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15mm respectivamente, mostrado na Figura 43, para que a distribuição granulométrica ficasse com a maior discretização possível.

Assim, para realizar este ensaio, colocam-se peneiras em série, e adiciona-se uma massa conhecida na primeira delas, com auxílio de um agitador de peneiras, observa-se a quantidade retida em cada uma delas e obtêm-se a classificação granulométrica.

Neste ensaio, define-se o diâmetro máximo, que é a abertura da peneira na qual fica retido 5% ou menos do material, e o módulo de finura, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa em todas as peneiras da série normal dividida por 100.

Figura 42 - Peneiras de grandes aberturas



Fonte: Autores, 2018.

Figura 43 – Peneiras de pequenas aberturas



Fonte: Autores, 2018.

- **Massa específica de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e a NBR NM 53 (ABNT, 2009)**

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo, colocou-se água no frasco de Chapmann, como visto na Figura 44, até atingir 200cm^3 e deixou-o em repouso para que escorra qualquer água que esteja aderida à face do recipiente. Em seguida, adiciona-se 500g do material seco e agita-se cuidadosamente para eliminar bolhas de ar. Por fim, mede-se o novo volume indicado no frasco e através da Equação 3, foi obtida a massa específica (γ).

$$\gamma = \frac{\text{massa do grão}}{\text{volume do grão}} = \frac{500 \text{ g}}{(L_f - 200) \text{ cm}^3} \quad (3)$$

Figura 44 – Frascos de Chapmann



Fonte: Autores, 2018.

Para o agregado graúdo, coloca-se 1000ml de água em uma proveta. Então, adiciona-se 1000g do material seco no frasco, como visto na Figura 45. Tem-se o mesmo cuidado com as bolhas de ar e a água no recipiente do ensaio para o agregado miúdo. Após a leitura final do volume, calcula-se a massa específica através da Equação 4.

$$\gamma = \frac{\text{massa do grão}}{\text{volume do grão}} = \frac{1000 \text{ g}}{(L_f - 1000) \text{ ml}} \quad (4)$$

Figura 45 – Provetas



Fonte: Autores, 2018.

Por fim, para o cimento, utiliza-se o querosene, por não reagir rapidamente com este material. Assim, coloca-se o líquido no frasco volumétrico de Le Chatelier, como visto na Figura 46, até atingir 60cm³ e aguarda-se alguns minutos. Então se adiciona 60g de cimento CPV-ARI, cuidadosamente para não entupir o recipiente e agita-o a fim de misturar os materiais. Após a estabilização do conjunto, realiza-se a leitura do volume final e calcula-se a massa específica através da Equação 5.

$$\gamma = \frac{\text{massa do grão}}{\text{volume do grão}} = \frac{60 \text{ g}}{(L_f - 60) \text{ ml}} \quad (5)$$

Figura 46 – Le Chatelier



Fonte: Autores, 2018.

- **Massa Unitária de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006)**

Para a determinação das massas unitárias do cimento, areia e areia de brita, coloca-se cada material separadamente, com auxílio de um funil, dentro de um cilindro previamente pesado, como mostra a Figura 47. Depois de preenchê-lo, pesa-se novamente e através da Equação 6 obtém-se a massa unitária (d).

$$d = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa cilindro vazio}}{\text{volume do recipiente}} \quad (6)$$

Figura 47 – Equipamento utilizado para obtenção de massa unitária



Fonte: Autores, 2018.

Para o agregado graúdo, utiliza-se um caixote metálico de massa conhecida. Então, com o auxílio de uma concha, acrescenta-se o agregado despejando-o sempre da mesma altura, porém alterando-se o lado de preenchimento, como visto na Figura 48 e Figura 49. Por fim, coloca-se o conjunto na balança a fim de determinar a massa e calcula-se a massa unitária pela Equação 7, vista a seguir.

$$d = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa caixote vazio}}{\text{volume do recipiente}} \quad (7)$$

Figura 48 – Brita sendo colocada no caixote na direção y



Fonte: Autores, 2018.

Figura 49 – Brita sendo colocada no caixote na direção x



Fonte: Autores, 2018.

- **Absorção de acordo com a NBR NM 30 (ABNT, 2001) e a NBR NM 53 (ABNT, 2009)**

A determinação da absorção foi feita para todos os materiais utilizados, exceto para o cimento que reage rapidamente com água. Assim, primeiramente coloca-se 1kg de amostra em um recipiente. Em seguida, adiciona-se água até cobrir o elemento e aguarda-se 24 horas. Então, retira-se o líquido, seca-se superficialmente esse material e, determina-se a sua massa. Por fim, deixa-se esse material na estufa por 12 horas e mediu-se novamente a sua massa. Assim, a obtém-se absorção a partir pela Equação 8, vista abaixo.

$$a = \frac{\text{Massa da amostra saturada} - \text{Massa da amostra seca}}{\text{Massa da amostra seca}} \times 100 \quad (8)$$

Figura 50 – Materiais submersos em água



Fonte: Autores, 2018.

APÊNDICE B

- **Estudo preliminar**

Tabela 15 - Resistência à compressão

Traço	Corpo de prova	Resistência à compressão por idade (MPa)	
		3 dias	7 dias
T1	A	18,48	21,98
	B	17,48	21,23
	C	15,86	20,10
	Média	17,27	21,10
	Desvio Padrão	1,32	0,94
T2	A	12,11	14,92
	B	7,37	16,04
	C	14,73	17,29
	Média	11,40	16,09
	Desvio Padrão	3,73	1,19
T3	A	15,86	16,11
	B	11,61	16,23
	C	11,74	11,11
	Média	13,07	14,48
	Desvio Padrão	2,42	2,92

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 16 - Resistência à tração por compressão diametral

Traço	Corpo de prova	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	
		3 dias	7 dias
T1	A	7,74	8,49
	B	8,24	6,99
		-	-
	Média	7,99	7,74
	Desvio Padrão	0,35	1,06
T2	A	5,74	7,62
	B	5,62	5,06
	C	6,18	5,18
	Média	5,85	5,95
	Desvio Padrão	0,30	1,44
T3	A	6,49	6,74
	B	6,24	7,74
	C	8,87	6,99
	Média	7,20	7,16
	Desvio Padrão	1,45	0,52

Fonte: Autores, 2018.

- **Ensaaios finais**

Tabela 17 - Resistência à compressão da segunda etapa

Traço	Idade	Força de rompimento (kgf)			Resistência à compressão (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3		
T4	3 dias	5700	10800	9800	7,26	13,75	12,48	11,16	3,44
	7 dias	11100	15400	10300	14,13	19,61	13,11	15,62	3,49
	28 dias	20400	13900	20100	25,97	17,70	25,59	23,09	4,67
	63 dias	18100	17200	19000	23,05	21,90	24,19	23,05	1,15
	91 dias	20700	20900	18700	26,36	26,61	23,81	25,59	1,55
T5	3 dias	17600	17400	17600	22,41	22,15	22,41	22,32	0,15
	7 dias	17700	18400	18400	22,54	23,43	23,43	23,13	0,51
	28 dias	20000	20400	23400	25,46	25,97	29,79	27,08	2,37
	63 dias	19900	20300	23500	25,34	25,85	29,92	27,04	2,51
	91 dias	20600	22900	20000	26,23	29,16	25,46	26,95	1,95
T6	3 dias	14700	15200	15900	18,72	19,35	20,24	19,44	0,77
	7 dias	16400	19200	16200	20,88	24,45	20,63	21,98	2,14
	28 dias	21600	21600	15100	27,50	27,50	19,23	24,74	4,78
	63 dias	22500	20800	25300	28,65	26,48	32,21	29,11	2,89
	91 dias	19800	20200	19700	25,21	25,72	25,08	25,34	0,34
T7	3 dias	8700	10000	13600	11,08	12,73	17,32	13,71	3,23
	7 dias	13900	12800	13700	17,70	16,30	17,44	17,15	0,75
	28 dias	19500	16900	18600	24,83	21,52	23,68	23,34	1,68
	63 dias	20900	20200	19600	26,61	25,72	24,96	25,76	0,83
	91 dias	17700	23500	19400	22,54	29,92	24,70	25,72	3,80
T8	3 dias	10700	7200	12000	13,62	9,17	15,28	12,69	3,16
	7 dias	12200	12800	12000	15,53	16,30	15,28	15,70	0,53
	28 dias	13400	14800	14900	17,06	18,84	18,97	18,29	1,07
	63 dias	20000	17000	19700	25,46	21,65	25,08	24,06	2,10
	91 dias	20000	16100	21200	25,46	20,50	26,99	24,32	3,40

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 18 - Resistência à tração por compressão diametral em 28 dias

Traço	Força de rompimento (kgf)			Resistência à tração (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3		
T4	7900	7200	7100	10,06	9,17	9,04	9,42	0,55
T5	7000	8200	9300	8,91	10,4	11,84	10,40	1,46
T6	7700	8400	7700	9,80	10,7	9,80	10,10	0,51
T7	6000	8100	7700	7,64	10,3	9,80	9,25	1,42
T8	8500	5000	7200	10,82	6,37	9,17	8,79	2,25

Fonte: Autores, 2018.

ANEXO A

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002

Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe foram conferidas pela lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 326, de 15 de dezembro de 1994, e

Considerando a política urbana de pleno desenvolvimento da função social da cidade e da propriedade urbana, conforme disposto na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001;

Considerando a necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil;

Considerando que a disposição dos resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;

Considerando que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;

Considerando que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;

Art. 1º Estabeleces diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais,

resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

IX - Aterro de resíduos da construção civil classe A de reservação ambiental para usos futuros: é a área tecnicamente adequada onde serão empregadas técnicas de destinação de resíduos da construção civil classe A no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente; (nova redação dada pela Resolução 448/12)

X - Áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT): área destinada ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais segregados, eventual transformação e posterior remoção para destinação adequada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; (nova redação dada pela Resolução 448/12)

XI - Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada aos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos exigidos na forma da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; (nova redação dada pela Resolução 448/12)

XII - Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução n° 469/2015)

III - Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução n° 431/11)

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (nova redação dada pela Resolução n° 348/04).

Art. 4° Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (nova redação dada pela Resolução n° 448/12)

§ 1° Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. (nova redação dada pela Resolução n° 448/12)

§ 2° Os resíduos deverão ser destinados de acordo com o disposto no art. 10 desta Resolução.

Art. 5° É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (nova redação dada pela Resolução n° 448/12)

Art. 6° Deverão constar do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil: (nova redação dada pela Resolução n° 448/12)

I - as diretrizes técnicas e procedimento para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para

os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; (nova redação dada pela Resolução n° 448/12)

II - o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;

III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos de disposição final de rejeitos;

IV - a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;

V - o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;

VI - a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;

VII - as ações de orientação, de fiscalização e de controle os agentes envolvidos;

VIII - as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

~~Art. 7º O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil será elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal e deverá estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local. (Revogado pela Resolução 448/12)~~

Art. 8º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil serão elaborados e implementados pelos grandes geradores e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

§ 1º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, de empreendimentos e atividades não enquadrados na legislação como objeto de licenciamento ambiental, deverão ser apresentados juntamente com o projeto do empreendimento para análise pelo órgão competente do poder público municipal, em conformidade com o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

§ 2º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental deverão ser analisados dentro do processo de licenciamento, junto aos órgãos ambientais competentes. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Art. 9º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas: (nova redação dada pela Resolução 448/12)

I - caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;

II - triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;

III - acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;

IV - transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;

V - destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução.

Art. 10. Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas:
(nova redação dada pela Resolução 448/12)

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros; (nova redação dada pela Resolução 448/12)

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Art. 11. Fica estabelecido o prazo máximo de doze meses, a partir da publicação desta Resolução, para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil, que deverão ser implementados em até seis meses após a sua publicação. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Parágrafo único. Os Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil poderão ser elaborados de forma conjunta com outros municípios, em consonância com o art. 14 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

~~Art. 12 Fica estabelecido o prazo máximo de vinte e quatro meses para que os geradores, não enquadrados no art. 7º, incluam os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento dos órgãos competentes, conforme do §§ 1º e 2º do art.8º. (Revogada pela Resolução 448/12)~~

~~Art. 13 No prazo máximo de dezoito meses os Municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de "bota fora". (Revogada pela Resolução 448/12)~~

Art. 14 Esta Resolução entra em vigor em 2 de janeiro de 2003.

JOSÉ CARLOS CARVALHO - Presidente do Conselho.