

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS
NATURAIS PELO AGREGADO RECICLADO DE RCC PARA
PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

JÉSSICA SOARES OLIVEIRA

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA
PEREIRA**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA/DF: MAIO, 2021.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS
NATURAIS PELO AGREGADO RECICLADO DE RCC PARA
PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

JÉSSICA SOARES OLIVEIRA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. Cláudio Henrique De Almeida Feitosa Pereira, Dr (ENC/UnB)
(Orientador)**

**Profª. Cláudia Márcia Coutinho Gurjão, Dra (ENC/UnB)
(Examinador Interno)**

**Lilian de Sousa Alves, (PECC/UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 21 DE MAIO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, JÉSSICA SOARES

Metodologia para substituição dos agregados naturais pelo agregado reciclado de RCC para produção de blocos de concreto [Distrito Federal] 2021.

x, 67p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Agregados reciclados

2. RCC

3. Composição granulométrica

4. Bloco de concreto

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, J.S. (2021). Metodologia para substituição dos agregados naturais pelo agregado reciclado de RCC para produção de blocos de concreto. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Jéssica Soares Oliveira.

TÍTULO: Metodologia para substituição dos agregados naturais pelo agregado reciclado de RCC para produção de blocos de concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de projeto final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Jéssica Soares Oliveira

SHTQ Quadra 4, Conjunto 7, casa 22.

71551-428 Brasília – DF – Brasil.

RESUMO

METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS PELO AGREGADO RECICLADO DE RCC PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Autora: Jéssica Soares Oliveira

Orientador: Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

Brasília, maio de 2021

O presente trabalho tem como objetivo obter curvas granulométricas que se mostrem adequadas à produção de blocos de concreto sem função estrutural a partir da substituição em massa de teores progressivos de agregados de resíduo da construção civil (RCC), produzidos Distrito Federal. Para isso, foram analisadas as composições granulométricas de dois traços empregados em uma indústria de artefatos de concreto local, ensaiados em pesquisa anterior desenvolvida por Alves (2016), bem como as curvas granulométricas de amostras de agregados reciclados de (RCC) coletados e ensaiadas em pesquisas pretéritas realizadas por Tavares (2016) e Soares (2019). Através de simulações de substituições em massa de teores do agregado empregado no traço dos blocos por agregado de RCC reciclado, realizadas no software Microsoft Excel, foram geradas composições granulométricas para diversas combinações entre os traços referência e as amostras de agregado reciclado. Para tais combinações, teores de 25%, 50%, 75% e 100% foram testados e comparados às faixas granulométricas recomendadas para a produção de blocos proposta por Fernandes (2019). Através da análise granulométrica da mistura dos agregados componentes do bloco, observou-se que o traço (T2) é mais bem graduado e se enquadra melhor aos limites granulométricos propostos para blocos. As amostras de agregados (AR2) e (AR6) apresentaram-se mais adequadas à substituição para ambos os casos de traço referência analisadas (T1) e (T2). Observou-se ainda, que o módulo de finura reduziu a medida em que se aumentou os teores de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de RCC em todos os casos estudados. Baseado nas análises realizadas, se pode concluir que a metodologia de substituição em massa dos agregados naturais pelos reciclados mostrou-se uma metodologia viável, o que tende a facilitar a aplicação desse material na indústria da construção.

Palavras-chave: agregados reciclados; RCC, bloco de concreto; composição granulométrica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO	5
2.1.1 Concreto seco	5
2.1.2 Materiais constituintes.....	7
2.1.3 Processo produtivo e equipamentos	9
2.1.4 Metodologias de dosagem.....	10
2.1.5 Recomendações normativas	14
2.2 AGREGADO DE RCC	18
2.2.1 Reciclagem do RCC	20
2.2.2 Propriedades do agregado de RCC.....	24
2.3 CONCRETO COM AGREGADO DE RCC.....	25
2.3.1 Metodologia de substituição em massa do agregado natural pelo reciclado em concretos proposto por Tavares (2016)	25
2.3.2 Bloco de concreto com agregado de RCC reciclado.....	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 PRIMEIRA ETAPA: COLETA DE DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	28
3.1.1 Agregados Naturais	29
3.1.2 Agregados Reciclados	31
3.2 SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS REFERÊNCIA	35

3.3 TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS E DETERMINAÇÃO DE TEORES DE SUBSTITUIÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS COM AGREGADOS DE (RCC).....	36
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
4.1 PRIMEIRA ETAPA – AVALIAÇÃO DAS CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS	39
4.1.1 Agregado natural	39
4.1.2 Agregado de (RCC) reciclado	41
4.2 SEGUNDA ETAPA – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS REFERÊNCIA	43
4.3 TERCEIRA ETAPA – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS.....	44
4.3.1 Composições a partir do traço (T1).....	44
4.3.2 Composições a partir do traço (T2).....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1 CONCLUSÕES	61
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Composição básica para diferentes tipos de concretos (HERMANN, 2016)	5
Figura 2.2 Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção agregados/cimento (traço fixo) (OLIVEIRA, 2004).....	6
Figura 2.3 Faixa granulométrica indicada para blocos.....	13
Figura 2.4 -Bloco Vazado de Concreto Simples (ABNT NBR 6136, 2016)	15
Figura 2.5 Blocos tipo canaleta (a) e Bloco compensador (b) (ABNT NBR 6136:2016).....	15
Figura 2.6 Composição média dos RCC no Brasil (FERNANDEZ, 2012)	20
Figura 2.7 - Distribuições de tamanho de partículas x processo de fratura (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011))	21
Figura 2.8 Desenhos esquemáticos dos britadores de mandíbula e de impacto.(ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).....	22
Figura 3.1 Etapas metodológicas desenvolvidas	28
Figura 4.1 Curvas granulométricas dos agregados naturais miúdos	39
Figura 4.2 Curva granulométrica do agregado natural graúdo.....	40
Figura 4.3 Curva granulométrica média do agregado reciclados AR1.....	41
Figura 4.4 Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados (AR2, AR3, AR4, AR5 E AR6)	42
Figura 4.5 Curva granulométrica dos traços referência (T1 e T2)	44
Figura 4.6 Composição granulométrica - Combinações T1AR1	45
Figura 4.7 Composições granulométricas – Combinação T1AR2	47
Figura 4.8 Composições granulométricas - Combinação T1AR3.....	48
Figura 4.9 Composições granulométricas - Combinação T1AR4.....	49
Figura 4.10 Composições granulométricas – Combinação T1AR5	50
Figura 4.11 Composições granulométrica – Combinação T1AR6.....	52
Figura 4.12 Composições granulométrica – Combinação T2AR1	53
Figura 4.13 Composição granulométrica - Combinação T2AR2	55
Figura 4.14 Composições granulométricas – Combinação T2AR3	56
Figura 4.15 Composições granulométricas - Combinação T2AR4.....	57
Figura 4.16 Composições granulométricas - Combinação T2AR5	59

Figura 4.17 Composições granulométricas – Combinação T2AR6	60
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Proporções típicas da composição de diferentes tipos de concreto (SOTO, 2017)).	5
Tabela 2.2 Composição granulométrica dos agregados sugerida pelo Método Columbia para a produção de blocos em função da textura superficial desejada (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).....	11
Tabela 2.3 Traços sugeridos em função da resistência à compressão média aos 28 dias para blocos de 14,5 cm x 19,0 cm x 29,5 cm (MEDEIROS, 1993 apud FRASSON et al., 2002)...	12
Tabela 2.4 Limites granulométricos do percentual acumulado passante de agregados para blocos.....	13
Tabela 2.5 Sugestão de MF da mistura de agregados para blocos	14
Tabela 2.6 Dimensões nominais (ABNT NBR 6136: 2016).....	16
Tabela 2.7 Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima de parede(ABNT NBR 6136: 2016)	17
Tabela 2.8 Requisitos para a resistência característica à compressão, absorção e retração (ABNT, 2016).....	17
Tabela 2.9 Classificação dos Resíduos da Construção Civil (BRASIL, 2002).....	19
Tabela 2.10 Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural (ABNT NBR 15116:2004)	23
Tabela 3.1 Caracterização física da areia rosa.....	29
Tabela 3.2 Caracterização física da areia mix	30
Tabela 3.3 Caracterização física do pó de brita.....	30
Tabela 3.4 Caracterização física do pedrisco	31
Tabela 3.5 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR1)	32
Tabela 3.6 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR2)	32
Tabela 3.7 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR3)	33
Tabela 3.8 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR4)	33
Tabela 3.9 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR5)	34
Tabela 3.10 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR6).....	34
Tabela 3.11 Nomeclaturas adotadas na metodologia	37
Tabela 4.1 Propriedades dos agregados naturais	40

Tabela 4.2 Propriedades granulométricas dos agregados reciclados.....	43
Tabela 4.3 Proporções dos agregados na mistura.....	43
Tabela 4.4 Parâmetros granulométricos da mistura de agregados dos traços (T1) e (T2)	44
Tabela 4.5 Propriedades granulométricas da combinação T1AR1.....	46
Tabela 4.6 Propriedades granulométricas da combinação T1AR2.....	47
Tabela 4.7 Propriedades granulométricas da combinação T1AR3.....	48
Tabela 4.8 Propriedades granulométricas da combinação T1AR4.....	50
Tabela 4.9 Propriedades granulométricas da combinação T1AR5.....	51
Tabela 4.10 Propriedades granulométricas da combinação T1AR6.....	52
Tabela 4.11 Propriedades granulométricas da combinação T2AR1.....	54
Tabela 4.12 Propriedades granulométricas da combinação T2AR2.....	55
Tabela 4.13 Propriedades granulométricas da combinação T2AR3.....	57
Tabela 4.14 Propriedades granulométricas da combinação T2AR4.....	58
Tabela 4.15 Propriedades granulométricas da combinação T2AR5.....	59
Tabela 4.16 Propriedades granulométricas da combinação T2AR6.....	60

1. INTRODUÇÃO

1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

De acordo com a Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN), a indústria da Construção Civil é um dos setores mais importantes para a economia. O crescimento desse setor tem relação direta com o desenvolvimento e a capacidade de produção do país (FIRJAN, 2014). Esse setor é considerado intensivo em mão de obra, gerando emprego e renda ao longo de toda sua cadeia produtiva. Em contrapartida, a construção civil é um dos setores que mais extrai recursos naturais não renováveis e por outro lado é um dos que mais gera resíduos. Desta maneira, se revela fundamental construir soluções inovadoras e ambiciosas para que o setor possa crescer de maneira sustentável, contribuindo para a superação da crise econômica e social instalada no Brasil.

Quantidades significativas de resíduos da construção civil (RCC) são produzidos todos os anos em todo o país. Estima-se que em 2018 foram coletadas cerca de 45 milhões de toneladas de RCC pelos municípios brasileiros (ABRELPE, 2019) . Apesar de possuir natureza predominantemente inerte, esse tipo de resíduo é volumoso e produzido em elevada escala, provocando falta de espaços nos aterros urbanos, além disso sua deposição irregular gera enormes impactos ambientais e sanitários.

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho (ABRELPE, 2020). Em contrapartida, a construção é a única indústria capaz de absorver quase que totalmente os resíduos que produz (KARPINSK; GUIMARÃES, 2009). A reciclagem e aplicação desses resíduos, por exemplo, proporciona o fechamento do ciclo produtivo da construção civil, uma vez que o material reciclado se torna matéria-prima para a própria indústria (VARELA; TORRES, 2019).

Depender somente de recursos naturais finitos passou a ser globalmente um risco, de modo que reciclar os resíduos da construção civil (RCC), substituir agregados naturais e viabilizar aplicações nobres para o agregado reciclado é um importante caminho que a construção civil pode seguir para se proteger de riscos econômicos, preservar o meio ambiente, economizar recursos e utilizá-los de maneira eficiente.

Desta maneira, este trabalho buscou verificar se a metodologia de substituição em massa de agregados naturais, utilizados para a fabricação de blocos de concreto de

vedação, por agregados reciclados produzidos no Distrito Federal, pode ser viável. Para isso, foram testadas diferentes composições granulométricas para a mistura desses agregados e foi verificada sua adequação à uma faixa granulométrica proposta por Fernandes (2019) para a produção de blocos.

Avaliar maneiras de introduzir o agregado de RCC reciclado na indústria da construção civil é uma importante maneira de poupar as reservas naturais e reduzir os problemas enfrentados nos aterros, devido ao grande volume ocupado pelo entulho. Além disso a valorização desse material pode ajudar a estimular a correta segregação desse resíduo e evitar deposições irregulares.

Há diversas pesquisas acadêmicas que investigaram o comportamento de artefatos de concreto produzidos a partir da incorporação de agregado reciclado de RCC, em especial blocos vazados de concreto, pode-se citar as pesquisas desenvolvidas por Albuquerque (2005), Buttler (2007), Daniel (2017) , Frasson Júnior (2000), Lintz (2012) e Souza (2001) .

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo central deste estudo é obter curvas granulométricas que se mostrem adequadas à produção de blocos de concreto sem função estrutural a partir da substituição em massa de teores progressivos de agregados de resíduo da construção civil (RCC). Busca-se desta maneira compreender como a substituição em massa do agregado natural pelo reciclado pode afetar a granulometria de um traço referência e quais são os percentuais limites de substituição que se adequam as faixas granulométricas recomendadas pelo método proposto por Fernandes (2019).

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a caracterização física dos agregados que compõe os dois traços utilizados confecção do bloco de concreto sem função estrutural referência caracterizado por Alves (2016) e dos agregados reciclados obtidos por Tavares (2016) e Soares (2019);
- Avaliar a adequação dos traços referência (T1) e (T2) utilizados na pesquisa, à faixa recomendada para a produção de blocos por Fernandes (2019);
- Avaliar de que maneira a substituição de agregados de (RCC) reciclados interfere na granulometria dos traços referência (T1) e (T2);
- Propor percentuais de substituição mais adequados às combinações agregados naturais e reciclados para os casos estudados;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo abrange a introdução ao tema proposto, apresentando uma breve contextualização do tema, sua justificativa, os objetivos, a estruturação e breve descrição dos capítulos.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que busca apresentar os principais aspectos a serem considerados na produção dos blocos de concreto; o processo

de reciclagem do resíduo da construção, as propriedades do agregado de RCC reciclado, algumas de suas aplicações em blocos de concreto disponíveis na literatura.

O terceiro capítulo contempla os materiais e métodos adotados para a realização do trabalho. Nele são detalhados os procedimentos adotados para a definição das composições granulométricas teóricas de agregados convencionais e reciclados a partir do traço-referência adotado na produção de blocos. Nesse capítulo estão descritas algumas limitações devido ao caráter emergencial do semestre, bem como as adequações que serão utilizadas para superá-las.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos nas etapas propostas na metodologia e suas análises.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho, as limitações do estudo e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO

2.1.1 Concreto seco

O concreto empregado na produção de blocos de concreto é conhecido na literatura por concreto seco ou abatimento zero (*no-slump*). Esse tipo de concreto é caracterizado por apresentar pequena quantidade de pasta de cimento e grande volume de agregado (SOTO, 2017). A Figura 2.1 Composição básica para diferentes tipos de concretos (HERMANN, 2016), ilustra a composição básica para diferentes tipos de concreto e a Tabela 2.1 mostra as típicas proporções da composição de diferentes tipos de concreto.

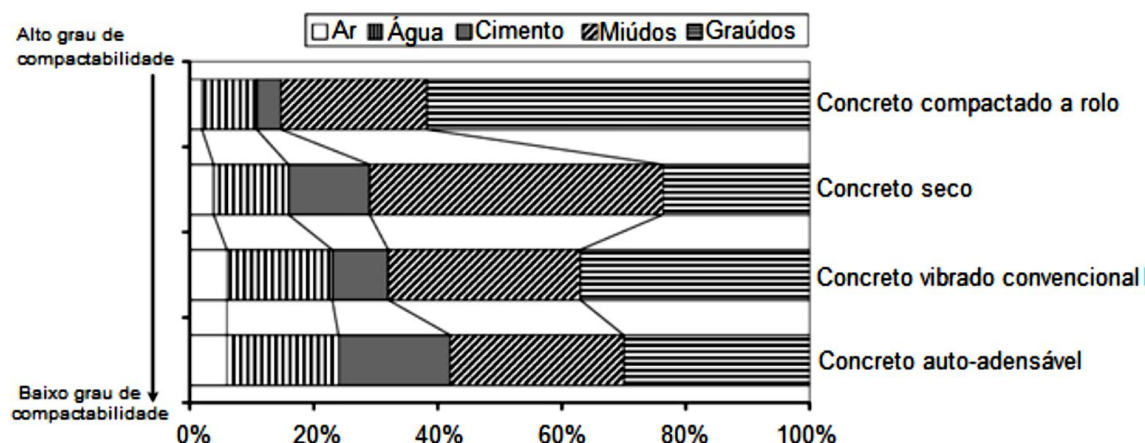


Figura 2.1 Composição básica para diferentes tipos de concretos (HERMANN, 2016)

Tabela 2.1 Proporções típicas da composição de diferentes tipos de concreto (SOTO, 2017))

Componente	Concreto auto adensável	Concreto Convencional	Concreto <i>No slump</i>
Agregado graúdo	30-34%	37-42%	48-60%
Agregado miúdo	26-36%	26-33%	13-29%
Volume de pasta	34-40%	30-32%	23-37%
Volume de água	15,5 - mais de 20%	19-20%	13-17%
Água/materiais secos	0,8-1,2	1,7	1,7

Em virtude da menor quantidade de água presente na mistura em relação aos materiais secos, o concreto *no slump* é mais consistente que o concreto convencional, sendo necessária a utilização de equipamentos denominados vibro-prensas para a

compactação e retirada do ar aprisionado (OLIVEIRA, 2004). Se comparado ao concreto plástico, o concreto seco apresenta maior consumo de cimento, menor índice de vazios, maior percentual de agregados miúdos e menor de agregados graúdos (HERMANN, 2016)

Diferentemente do concreto convencional (plástico), os concretos secos não seguem a “Lei de Abrams”, em que a resistência mecânica do concreto é inversamente proporcional à relação água/cimento. Assim, dentro de um limite de umidade ótima, quanto mais água for incorporada à mistura, melhor será sua trabalhabilidade, menor será o índice de vazios, o que resultará numa melhor resistência à compressão e compacidade. Na literatura, o teor de umidade ótima varia de 5 a 8% em massa e está associado ao equipamento utilizado e à granulometria dos agregados (OLIVEIRA, 2004; FERNANDES, 2019). Figura 2.2 Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção agregados/cimento (traço fixo) (OLIVEIRA, 2004)

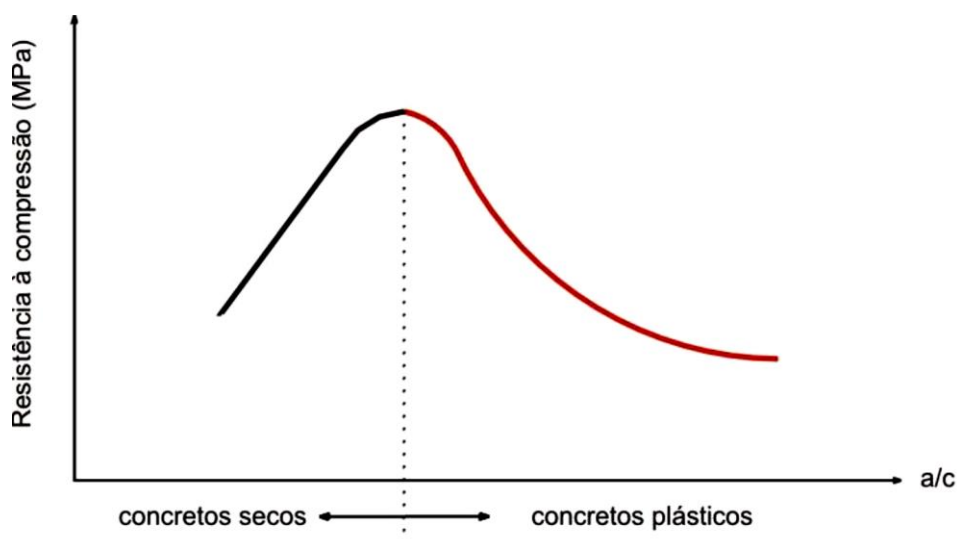


Figura 2.2 Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção agregados/cimento (traço fixo) (OLIVEIRA, 2004)

De maneira geral, é esperado que o concreto seco apresente, no estado fresco, a trabalhabilidade adequada às operações de mistura e vibro compactação, apresentando coesão suficiente para permitir a desforma imediata das peças e a manutenção de sua integridade. A qualidade final das peças está diretamente relacionada ao material empregado e à sua melhor combinação, aliada ao tipo e regulagem dos equipamentos de vibro prensa (OLIVEIRA, 2004).

2.1.2 Materiais constituintes

Os blocos de concreto são constituídos pela mistura homogênea de cimento Portland, agregados graúdo e miúdo, água, aditivos químicos e eventuais acréscimos de adições minerais (ALVES, 2016; OLIVEIRA, 2004). O conhecimento das propriedades e especificações dos materiais componentes é bastante relevante na definição dos traços.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o mercado nacional dispõe de 8 opções de cimento e todos eles são de possível aplicação na produção de blocos, desde que observadas as condições de cura adequada (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

Devido a suas características e propriedades, os cimentos de alta resistência inicial (CP V-ARI) são os mais recomendados para a produção de blocos de concreto. Em função da maior presença de C3S e moagem mais fina do cimento, esse tipo de cimento atinge elevadas resistências nas primeiras idades (SALVADOR FILHO, 2007). Tal característica favorece a rápida desforma dos blocos e reutilização dos moldes, resulta em peças mais coesas e reduz o tempo de cura. Desta maneira, o tempo de produção e de entrega das peças é reduzido, o que resulta em ganho de produtividade, essencial ao processo industrial (OLIVEIRA, 2004)

Outro componente bastante relevante na produção dos blocos são os agregados, já que ocupam grande parte do volume do concreto. Para concreto de consistência seca, empregado na produção de blocos de concreto de vedação, os agregados podem representar um percentual em massa de até 90% por m³ de concreto. A seleção e combinação adequada dos agregados tem direta influência na qualidade do concreto, podendo até mesmo viabilizar ou não o processo produtivo (ALBUQUERQUE, 2005b; HERMANN, 2016).

Os agregados são classificados pela ABNT NBR 7211:2005 como miúdos, quando os grãos passam na peneira de abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 0,15 mm; e graúdos, quando passam pela peneira de abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha 4,75 mm.

A ABNT NBR 6136:2016 estabelece que em blocos de concreto especificados de acordo com a norma, a dimensão máxima característica do agregado deve ser inferior à metade da menor espessura da parede do bloco sendo aconselhável que o agregado graúdo possua diâmetro máximo de 6,3 mm para blocos aparentes e de 9,5 mm (brita 0) para blocos que irão receber revestimento (FERNANDES, 2019).

A granulometria é o principal ensaio utilizado para caracterização de materiais granulares. A partir dele é possível obter duas constantes, o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica (DMC), muito importantes para a definição do tamanho e distribuição dos grãos dos agregados. Além disso, o ensaio de granulometria permite a construção da curva granulométrica, tornando possível a análise visual de uma faixa granulométrica recomendada para a aplicação de interesse (FERNANDES, 2019).

Para garantir um bom arranjo do concreto, a classificação dos agregados quanto à dimensão e à forma é bastante importante. Concretos com distribuição granulométrica contínua apresentam menor índice de vazios e menor consumo de cimento para uma mesma trabalhabilidade. A morfologia dos grãos influencia na trabalhabilidade, no tempo de enchimento do molde, no adensamento e acabamento das peças: quanto mais arredondado o grão melhor será a consistência do concreto e menor a quantidade de água de amassamento (FERNANDES, 2019; SALVADOR FILHO, 2007).

A água de amassamento para concreto seco, assim como nos concretos convencionais, tem a função de participar da reação de hidratação do cimento na mistura. Essa água deve estar de acordo com padrões de potabilidade e isenta de substâncias que prejudiquem sua função. Em geral, a água fornecida pelas companhias de abastecimento atende aos requisitos previstos na ABNT NBR 15900-1:2009.

Como discutido anteriormente, a umidade ótima do concreto seco varia de 5 a 8%, e pequenas variações nesse intervalo provocam consideráveis mudanças nas propriedades da mistura, como coesão e facilidade de compactação. A quantidade de água, portanto, deve ser a máxima possível, desde que não prejudique a desforma e seja compatível com o equipamento de vibro-prensa (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com a ABNT NBR 11768-1:2019, os aditivos podem ser definidos como produtos que quando acrescentados em concretos e argamassas modificam suas propriedades, adequando-as a condições desejadas. Geralmente são utilizados para melhorar a trabalhabilidade, aumentar ou reduzir tempo de pega, incorporação de ar, fluidez, etc. Durante a mistura, normalmente adiciona-se um teor de no máximo 5% em relação à massa de cimento (SALVADOR FILHO, 2007)

2.1.3 Processo produtivo e equipamentos

O processo de produção dos blocos consiste nas etapas de escolha e recebimento dos materiais, pesagem, mistura, vibro-prensagem, cura, transporte e estocagem. Ao chegar na fábrica, o lote de agregados é submetido à amostragem e a ensaios de granulometria, massa específica, massa unitária no estado solto e compactado; em seguida são dispostos nas baias de armazenamento. O cimento deve ser preferencialmente armazenado em silos livres de contato com umidade. Os demais insumos devem ser armazenados de acordo com as instruções do fabricante (SALVADOR FILHO, 2007).

Os materiais constituintes devem ser medidos preferencialmente em massa, já que a mensuração em volume é mais suscetível a imprecisões, como, por exemplo, às variações de volume provocadas pelo inchamento da areia. Na etapa de pesagem dos materiais, a umidade dos agregados deve ser considerada a fim de evitar falhas na determinação da água de amassamento (SALVADOR FILHO, 2007).

Conforme o tipo de bloco a ser fabricado, o traço deve ser adequado à umidade dos agregados, que é encaminhado até o misturador onde será combinado com os demais insumos devidamente proporcionados em massa. O misturador pode ser do tipo horizontal ou planetário e é um equipamento fundamental para a homogeneização adequada do material (FRASSON JUNIOR, 2000; SALVADOR FILHO, 2007).

Os equipamentos utilizados na conformação dos blocos de concreto são denominados vibro-prensas. O concreto é levado ao molde e submetido a um sistema de vibração (função de preencher os moldes) associado à prensagem, até que a altura final da peça seja atingida (função de adensamento e acabamento das peças). Quanto maior for a capacidade de prensagem do equipamento, menor será o consumo de cimento da mistura, menor a quantidade de água de amassamento necessária e maior a resistência da peça (FERNANDES, 2019; SALVADOR FILHO, 2007; SOUSA, 2001)

O mecanismo de vibração é caracterizado por sua direção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento. O tempo de adensamento deve ser o mínimo necessário para o adequado preenchimento e adensamento nos moldes e para que a conformação dos blocos apresente resistência adequada ao manuseio após a conformação das peças (SALVADOR FILHO, 2007; SOUSA, 2001).

As vibro-prensas podem ser caracterizadas como de tipo manual, pneumática ou hidráulica, sendo a última a mais eficiente dentre elas. Equipamentos mais modernos

automatizam parâmetros como alimentação, prensagem, acomodação e extrusão das peças, favorecendo a obtenção de componentes de densidade constante, mesmo quando existem pequenas variações nos materiais empregados (FERNANDES, 2019).

Após a moldagem as peças são colocadas em pallets e encaminhadas para a câmara de cura, onde serão mantidas em condições favoráveis ao processo de hidratação do cimento e desenvolvimento da resistência. A literatura aponta para dois tipos de cura usualmente aplicadas a blocos: a úmida e a acelerada. Na cura úmida, as peças devem ser mantidas em condições de umidade e temperatura controlada durante o período de 7 dias. A cura acelerada, por sua vez, tem duração de 6 horas na câmara de vapor, precedidas de 2 horas de descanso pós-moldagem a fim de evitar fissurações nas peças. Devido à sua eficiência, a cura acelerada é o processo mais adequado à produção de blocos (FERNANDES, 2019; SALVADOR FILHO, 2007).

Após a cura, as peças devem ser acondicionadas de maneira que as operações de identificação, transporte e entrega sejam facilmente executáveis (FRASSON JUNIOR, 2000).

2.1.4 Metodologias de dosagem

Os métodos de dosagem mais empregados para blocos de concreto são sugeridos por pesquisadores e fabricantes de máquinas vibro-prensas, baseando-se em testes e ajustes nos equipamentos. Por meio da dosagem, se busca alcançar os critérios de desempenho exigidos pela normatização vigente. A seguir serão apresentados os métodos de dosagem para blocos propostos por fabricantes de equipamento vibro-prensa encontrados na literatura (OLIVEIRA, 2004).

2.1.4.1 Método Columbia (COLUMBIA, 1986)

Baseado nos estudos desenvolvidos por Grant (1948) e Menzel (1934), a metodologia de dosagem proposta pela fabricante norte-americana de vibro-prensas, Columbia, procura adequar uma combinação de agregados graúdo e miúdo à uma faixa granulométrica previamente definida através de suas experimentações com os equipamentos. Essa combinação deve gerar uma composição em que a totalidade dos grãos passem na peneira 9,5mm e um teor de 20 a 30% fique retido na peneira de malha 4,8mm (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).

Há também um limite no teor de finos presente na mistura, onde o volume de material passante na peneira de malha 0,3mm deve estar entre 12% e 15%; a depender do tipo de areia e forma do agregado gráudo esse teor pode variar de 18% a 20%. Esse limite auxilia na obtenção de misturas mais coesas e de boa trabalhabilidade e, caso ultrapassado, pode aumentar a porosidade, absorção, permeabilidade, diminui a estabilidade do bloco após a desforma e podem prejudicar a resistência à compressão das peças (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).

A Tabela 2.2, mostra as porcentagens retidas acumuladas recomendadas pelo método para diferentes módulos de finura e características de textura.

Tabela 2.2 Composição granulométrica dos agregados sugerida pelo Método Columbia para a produção de blocos em função da textura superficial desejada (FRASSON JÚNIOR et al., 2002)

PENEIRA (mm)	PORCENTAGEM ACUMULADA POR VOLUME PARA VÁRIAS TEXTURAS DE BLOCOS		
	FINA	MÉDIA	GROSSA
9,5	0	0	0
4,8	21	25	30
2,4	36	40	50
1,2	51	55	67
0,6	66	70	81
0,3	82	85	91
0,15	94	95	98
M.F.	3,5	3,7	4,17

É desejável, nesse método, que as características dos agregados não apresentem variações significativas da faixa referenciada, principalmente na granulometria, a fim de lograr resultados satisfatórios quanto à trabalhabilidade, textura superficial e resistência mecânica (OLIVEIRA, 2004). Contudo, esse ajuste granulométrico nem sempre tem aplicação possível, a depender da disponibilidade local. Ademais, esse método desconsidera a forma do agregado e a contribuição do cimento como material fino (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).

2.1.4.2 Método de dosagem proposto por Bresser Company e adaptado por Medeiros (1993)

Esta metodologia foi desenvolvida por Pfeifferberger (1985) e adotada pela fabricante de equipamentos vibro-prensa Bresser Company, foi adaptada à situação específica dos fabricantes brasileiros por Medeiros (1993). Neste método, os agregados devem ser proporcionados de maneira que sua composição se enquadre nos limites propostos por Pfeifferberger (1985). Em seguida, deve ser determinado o traço-piloto, referenciado pelo método, a partir da resistência desejada (Tabela 2.3Tabela 2.3). Esse traço é apenas um indicativo inicial e deverá ser testado em escala real (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).

Tabela 2.3 Traços sugeridos em função da resistência à compressão média aos 28 dias para blocos de 14,5 cm x 19,0 cm x 29,5 cm (MEDEIROS, 1993 apud FRASSON et al., 2002)

Resistência à compressão média	4,5 MPa	6,0 Mpa	8,0 MPa	9,0 MPa
Traço seco (cimento: agregados)	1: 9 a 1: 12	1: 8 a 1: 10	1: 7 a 1: 9	1: 6 a 1: 8

O método também sugere que o teor de umidade da mistura esteja entre 6,0% a 7,5%, devendo ser ajustado no momento dos testes no traço-piloto. Esse teor de umidade pode sofrer alterações a depender dos materiais utilizados, tipo de equipamento e uso de aditivos (FRASSON JÚNIOR et al., 2002).

2.1.4.3 Método de dosagem proposto por Fernandes (2019)

O método de dosagem proposto por Fernandes (2019), considera basicamente três estudos: o da granulometria, da umidade ótima e do consumo de cimento. O estudo da granulometria, foco deste trabalho, propõe faixas granulométricas adequadas à dosagem do concreto seco utilizado na fabricação de blocos. Estas faixas limite leva em consideração as recomendações da fabricante de equipamentos de vibro prensas *Columbia Machine* além das consultorias prestadas pelo autor à fabricantes de blocos no Brasil e alguns outros países durante 25 anos. Os limites granulométricos propostos por Fernandes (2019) são apresentados na Tabela 2.4 e a faixa granulométrica correspondente na Figura 2.3.

Tabela 2.4 Limites granulométricos do percentual acumulado passante de agregados para blocos

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passando (%)	
	Limite inferior	Limite superior
12,5	100%	100%
9,5	100%	100%
6,3	100%	85%
4,8	100%	67%
2,4	81%	49%
1,2	63%	34%
0,6	46%	22%
0,3	32%	10%
0,15	20%	3%
0,075	10%	0%
Fundo	0%	0%

Fonte: Adaptado de Fernandes (2019)

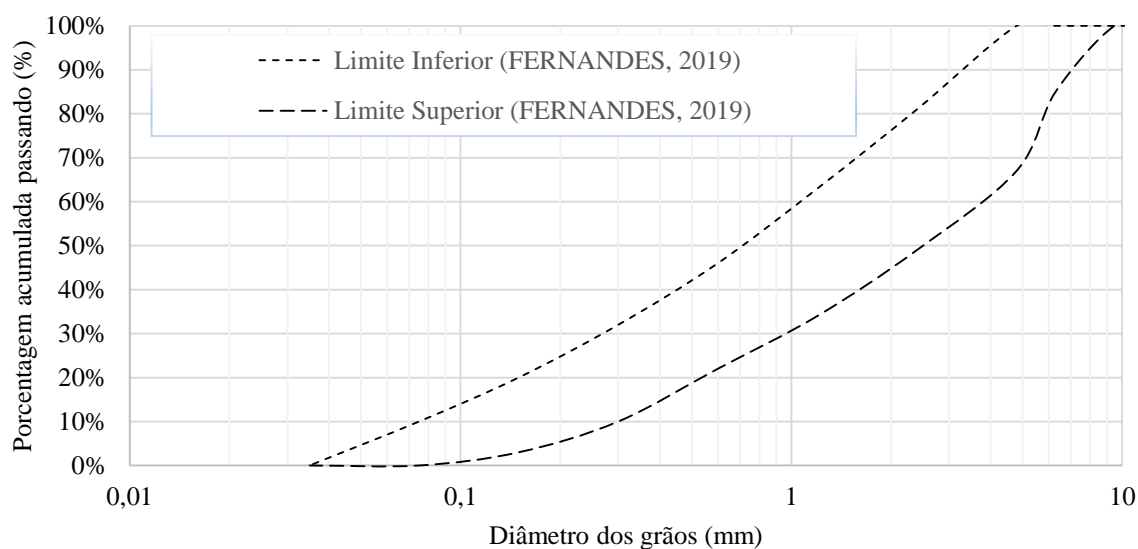


Figura 2.3 Faixa granulométrica indicada para blocos

Fonte: Adaptado de Fernandes (2019)

Esses limites levam em consideração o acabamento e o custo unitário das peças produzidas. Quanto mais próximo do limite inferior, melhor será o acabamento, porém sua resistência será menor, e, quanto mais próximo ao limite superior, mais resistente será a peça, mas o acabamento inferior.

Para o estudo da granulometria, considera-se ainda o módulo de finura (MF) resultante da mistura dos agregados em função da utilização do concreto seco a ser dosado. Esses valores são apresentados na Tabela 2.5 (FERNANDES, 2019).

Tabela 2.5 Sugestão de MF da mistura de agregados para blocos

Bloco aparente	MF < 3,00
Bloco até 10 Mpa	MF < 3,40
Bloco acima de 10 Mpa	$3,40 \leq MF \leq 4,00$

Fonte: Adaptado de Fernandes (2019)

2.1.5 Recomendações normativas

No Brasil, os blocos vazados de concreto destinados à execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- ABNT NBR 12118:2011 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio;
- ABNT NBR 6136:2016 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

A ABNT NBR 6136:2016 define bloco vazado de concreto simples como sendo um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. A Figura 2.4 ilustra a seção típica do bloco.

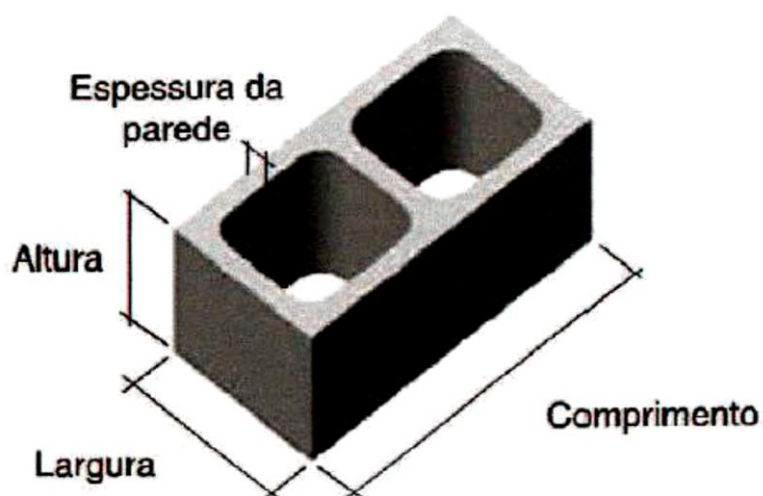


Figura 2.4 -Bloco Vazado de Concreto Simples (ABNT NBR 6136, 2016)

A referida norma ainda define outros tipos de componentes de alvenaria que compõem o sistema de blocos vazados: o tipo canaleta e o compensador. O bloco tipo canaleta foi criado para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas; sua conformação geométrica é apresentada na Figura 2.5(a). Já o bloco compensador é destinado a eventuais ajustes de modulação, sendo representado na Figura 2.5(b).

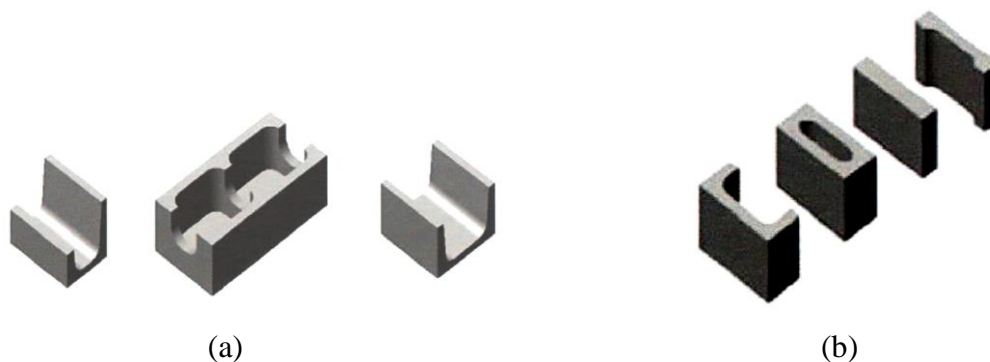


Figura 2.5 Blocos tipo canaleta (a) e Bloco compensador (b) (ABNT NBR 6136:2016)

São ainda estabelecidos requisitos específicos de dimensões nominais e espessura de parede, apresentados respectivamente na Tabela 2.6 e Tabela 2.7.

Tabela 2.6 Dimensões nominais (ABNT NBR 6136: 2016)

FAMÍLIA	20x4 0	15x4 0	15x3 0	12,5x4 0	12,5x2 5	12,5x37, 5	10x4 0	10x3 0	7,5x4 0
LARGURA (mm)	190	140		115		90		65	
ALTURA (mm)	190								
INTEIRO	390	390	290	390	240	365	390	290	390
MEIO	190	190	140	190	115	-	190	140	190
2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
AMARRAÇÃO "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
AMARRAÇÃO "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
COMPENSADOR A	90	90	-	90	-	-	90	90	
COMPENSADOR B	40	40	-	40	-	-	40	40	
CANALETA INTEIRA	390	390	-	390	240	365	390	290	-
MEIA CANALETA	190	190	-	190	115	190		140	-

NOTA 1 - As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de até 2,0 mm para a largura e até 3,0 mm para o comprimento.

NOTA 2 - Os componentes das famílias de bloco de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.

NOTA 3 - As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Tabela 2.7 Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima de parede (ABNT NBR 6136: 2016)

Classe	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais (mm)	Paredes transversais	
			Paredes (mm)	Espessura equivalente (mm/m)
A	190	35	25	188
	140	25	25	188
B	190	35	25	188
	140	25	25	135
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

As classes são definidas pela ABNT NBR 6136:2016 de acordo com o uso dos blocos, que podem ter ou não função estrutural. Os blocos especificados de acordo com a referida norma devem atender a requisitos físico-mecânicos, tais como limites de resistência, absorção e retração linear por secagem. A Tabela 2.8 a seguir apresenta os limites das classes de blocos.

Tabela 2.8 Requisitos para a resistência característica à compressão, absorção e retração (ABNT, 2016)

Classificação	Classe	Resistência Característica à compressão axial ^a (Mpa)	Absorção (%)				Retração ^d (%)
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{ck} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{ck} \leq 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$F_{ck} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

b Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).

c Blocos fabricados com agregado leve. (ver definição na ABNT NBR 9935).

d Ensaio facultativo.

2.2 AGREGADO DE RCC

O agregado reciclado é aquele obtido pela reciclagem dos resíduos de construção civil (RCC) ou de algum outro resíduo que tenha condições de ser utilizado no concreto. (ÂNGULO, FIGUEIREDO, 2011)

Os resíduos da construção civil (RCC), usualmente chamados de entulho de obras, calça ou metralha, são aqueles provenientes das atividades de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Esse tipo de resíduo constitui-se basicamente de um conjunto de fragmentos ou restos de tijolos e blocos cerâmicos, concretos e argamassas, aço, solos e rochas, madeiras e compensados, etc. (BRASIL, 2002).

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307/2002, alterada pela Resolução CONAMA nº 348/2004, representa, juntamente com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), um marco regulatório na gestão dos resíduos da construção. Importantes diretrizes, metas de redução, reciclagem e reutilização, bem como de gestão dos resíduos gerados pela construção civil, foram referenciadas nessa resolução, que tornou o gerador do resíduo responsável por segregar os resíduos em diferentes classes, estimar sua quantidade e dar destinação final adequada ao material (BRASIL, 2002; JOHN, 2017).

De acordo com essa Resolução 307 CONAMA, o resíduo da construção civil (RCC) deve ser segregado nas seguintes classes, apresentadas na Tabela 2.9(BRASIL, 2002):

Tabela 2.9 Classificação dos Resíduos da Construção Civil (BRASIL, 2002)

Classe	Definição	Exemplos
A	Resíduos reutilizáveis* ou recicláveis como agregados	Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e obras de infraestrutura, terraplanagem
		Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações
		Resíduos de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto
B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros
C	Resíduos para os quais não há tecnologia para reciclagem ou recuperação, ou não são economicamente viáveis	Gesso
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tinta, óleo, solventes e outros ou aqueles contaminados enquadrados como classe I da ABNT NBR 10004.

Os resíduos da construção civil (RCC) categorizados como de Classe A, segundo essa Resolução 307 CONAMA (BRASIL, 2002), podem ser aproveitados através da reutilização (onde não há transformação do resíduo) ou através da reciclagem (onde o resíduo é transformado em material de construção). Apesar de muito comum a utilização do RCC bruto, ampliar sua utilização como material de construção, sendo reciclado na forma de agregado, para uso na pavimentação e no concreto, é considerada a única alternativa para poupar as reservas de agregado natural (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011). Essa prática, além de gerar benefícios ambientais, reduz o risco econômico da dependência exclusiva de recursos finitos.

O IPEA (2012) aponta, em sua publicação “Diagnóstico de Resíduos Sólidos da Construção Civil”, a composição média dos RCC no Brasil apresentada na Figura 2.6 (FERNANDEZ, 2012):

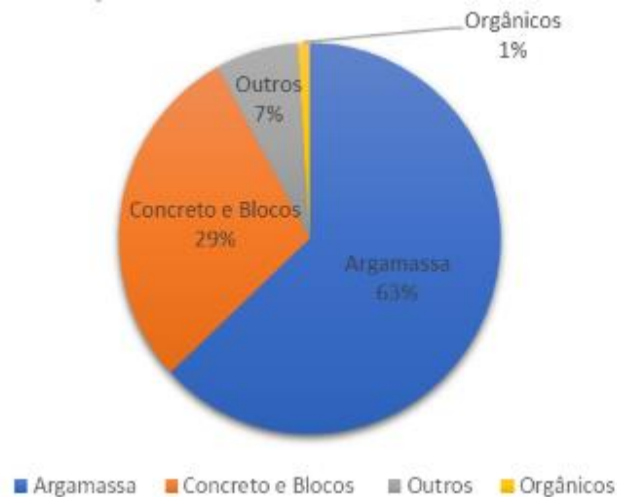


Figura 2.6 Composição média dos RCC no Brasil (FERNANDEZ, 2012)

Observa-se que o somatório dos resíduos de construção civil (RCC) de origem mineral corresponde a mais de 90% do total. Esse resultado mostra o potencial de reciclagem de RCC Classe A para produção de agregado. É relevante destacar a importância da separação de materiais indesejáveis ao processo de reciclagem, como madeira, plástico, aço e outros, já no canteiro de obra ou durante o processo de demolição, já que a qualidade do agregado reciclado está diretamente relacionada à qualidade dos resíduos a serem processados (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011; BLUMENSCHNEIN, 2007)

2.2.1 Reciclagem do RCC

O processo de reciclagem de RCC consiste basicamente nas etapas de separação e fragmentação do resíduo de concreto armado, triagem do RCC misto, cominuição e separação dos fragmentos metálicos (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

O resíduo de concreto armado, quando segregado dos demais RCC, produz um agregado reciclado de melhor qualidade, tendo em vista que esse material é menos poroso e mais resistente quando comparado ao resíduo misto. Esse tipo de resíduo geralmente possui grandes dimensões, daí a necessidade de fragmentá-lo em peças menores para possibilitar a alimentação do britador sem que ocorram desgastes desnecessários no equipamento (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

A etapa de triagem do RCC misto consiste em segregar os materiais indesejáveis à produção do agregado (madeira, plástico, vidro, papel, etc.) e contaminantes (gesso e

amianto). A maneira com que o material granular é armazenado e seu tamanho são determinantes na facilidade de acesso ao material indesejado e conseqüentemente na eficiência da triagem. Quando o RCC é disposto sobre um transportador de correia, por exemplo, os materiais inconvenientes à reciclagem são mais facilmente acessíveis para a catação (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

O processo de britagem consiste em reduzir a dimensão máxima do RCC em diversas faixas granulométricas. As características do agregado reciclado, tais como resistência, granulometria, composição, forma e teor de impurezas, são diretamente influenciadas pelo tipo de equipamento e procedimentos empregados na reciclagem (LEITE, 2001). A Figura 2.7 mostra como os processos de fratura influenciam a distribuição granulométrica do agregado reciclado (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

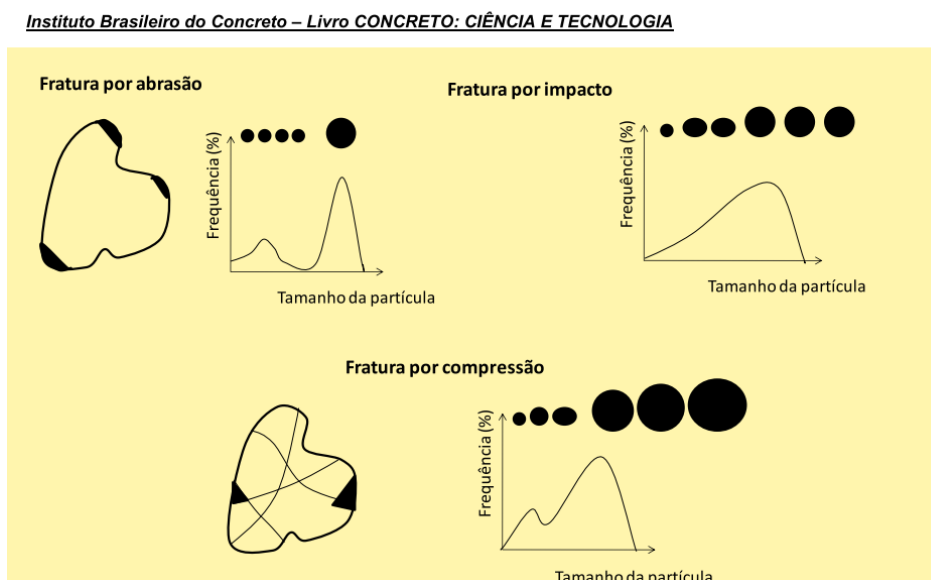


Figura 2.7 - Distribuições de tamanho de partículas x processo de fratura (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011))

Os britadores mais empregados no beneficiamento do RCC são os de mandíbula ou o de impacto. No britador de mandíbula, a fratura dos elementos ocorre por meio de mecanismos de esmagamento ou compressão, onde os fragmentos se rompem pelo cisalhamento no plano principal de tensões, resultando em elevadas quantidades de finos. Os britadores de mandíbula possuem custos de manutenção reduzida e são indicados para produzir britas de dimensão menor que 19 mm (CHAVES, 2002 apud (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011)).

O mecanismo do britador de impacto consiste em britar o material através de choque com martelos maciços e placas fixas (LEITE, 2001). Esse tipo de britador possui custo de manutenção elevada, sendo seu uso considerado desaconselhável para produção de agregado (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011). A Figura 2.8 traz um desenho esquemático dos britadores de mandíbula e de impacto.

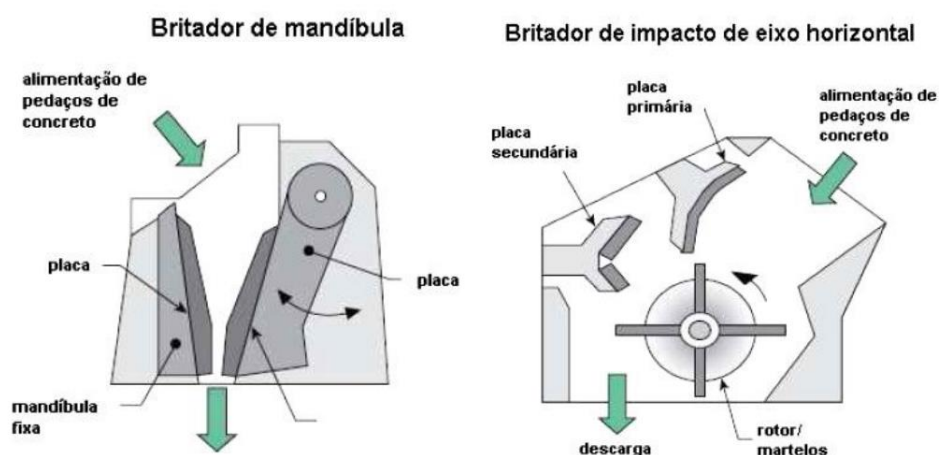


Figura 2.8 Desenhos esquemáticos dos britadores de mandíbula e de impacto.(ANGULO; FIGUEIREDO, 2011)

Por fim, é aconselhável realizar uma nova triagem de fragmentos de aço que podem ter sido reduzidos de tamanho, juntamente com o agregado de RCC. Esse material é considerado indesejável ao processo e sua remoção eficiente é relevante para a qualidade final do agregado de RCC (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

Após o processo de reciclagem, a composição do agregado de RCC deve ser realizada por análise visual, cujo procedimento é descrito no Anexo A da norma brasileira ABNT NBR 15116. Após detectada sua composição predominante, o agregado de RCC pode ser classificado como Agregado de Resíduo de Concreto (ARC) ou Agregado de Resíduo Misto (ARM) (ABNT, 2004).

Agregado de Resíduo de Concreto (ARC), quando a composição de sua fração gráuda é de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas; e Agregado de Resíduo Misto (ARM), quando composto na sua fração gráuda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Para sua aplicação em concretos sem função estrutural, os agregados de RCC podem substituir integralmente ou parcialmente os agregados convencionais, desde que atendam aos requisitos mostrados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural (ABNT NBR 15116:2004)

Propriedades	Agregado reciclado "Classe A"				Norma de ensaio	
	ARC		ARM		Agregado graúdo	Agregado miúdo
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo		
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		-		-	Anexo A	-
Absorção de água (%)	7	12	12	17	ABNT NBR NM 53	ABNT NBR NM 30:2001
Contaminantes, teores máximos com relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos		1		ABNT NBR 9917:2009	
	Sulfatos		1		ABNT NBR 9917:2009	
	Materiais não minerais		2		Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila		2		ABNT NBR 9917:2009	
	Teor total máximo de contaminantes		3		-	
Teor de material passante na malha 75Um (%)	10	15	10	20	ABNT NM 46:2003	

Para efeitos desta norma são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados, cerâmicos.

Para a aplicação segura do agregado reciclado é fundamental que as usinas implantem um controle de qualidade sistêmico, no qual os requisitos exigidos pela norma sejam atendidos. As normas, no entanto, não garantem a homogeneidade dos agregados reciclados nem sua aceitação no mercado. (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009).

2.2.2 Propriedades do agregado de RCC

O agregado reciclado é aquele obtido pela reciclagem dos resíduos da construção civil (RCC). Devido à grande heterogeneidade do material de origem e tipo de processamento, esse tipo de agregado pode apresentar grande diversidade de características. A cada caçamba, o agregado de RCC pode apresentar diferentes composições e, por vezes, verifica-se um grande percentual de materiais indesejáveis, materiais porosos e contaminantes (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011)

As propriedades do agregado reciclado são, em geral, diferentes das do agregado natural. Quando comparados aos agregados convencionais, os agregados de RCC são mais absorventes, menos densos, têm forma irregular e textura rugosa, além de apresentarem mais susceptibilidade à contaminação, devido à presença da pasta de cimento (CORRÊA, 2019).

Quase todas as propriedades do agregado de RCC dependem do seu conteúdo de argamassa. A argamassa aderida pode estar nos agregados reciclados sob a forma de blocos incrustados com agregados naturais menores, na superfície do agregado natural ou aglutinando duas ou mais partículas de agregado. Isso torna a superfície do agregado de RCC mais áspera e porosa se comparada à do agregado natural (GUO et al., 2018; MOREIRA, 2010).

O teor de componentes com alta porosidade, como material cerâmico ou material com argamassa aderida afeta diretamente a porosidade do agregado. A absorção de água das partículas cimentícias pode chegar a 15%, enquanto a de cerâmica vermelha pode atingir 24%. A quantidade de cerâmicos no agregado de RCC influencia fortemente sua porosidade (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011). A porosidade é inversamente proporcional à resistência mecânica e à abrasão do agregado de RCC.

Alguns métodos podem ser utilizados para a caracterização dos agregados reciclados, tais como a análise granulométrica, análise química, análise mineralógica, análise termogravimétrica, separação por densidade empregando líquidos densos e determinação da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados (ÂNGULO, 2005).

As distribuições de tamanho de agregados grossos e finos de RCC são geralmente diferentes das frações correspondentes de agregados naturais. Isso gera a dificuldade de enquadramento dos agregados reciclados dentro das curvas granulométricas convencionais

(ÂNGULO, 2005). Os agregados reciclados, tanto miúdo quanto graúdo, tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco maior (LEITE, 2001). No entanto, em uma planta de produção e também em diversos estudos, o agregado de RCC é produzido através de processos de britagem e peneiramento e, portanto, enquadra-se nos limites da gradação de mistura para a preparação de concretos (GUO et al., 2018).

Devem ser tomados cuidados com a composição granulométrica dos agregados reciclados para possibilitar a produção de misturas de concreto trabalháveis, com grau de compactidade satisfatório e que permitam o melhor desempenho técnico e a redução do custo dos concretos produzidos (LEITE, 2001).

2.3 CONCRETO COM AGREGADO DE RCC

2.3.1 Metodologia de substituição em massa do agregado natural pelo reciclado em concretos proposto por Tavares (2016)

Esta metodologia considera a obtenção de uma nova composição granulométrica a partir da substituição de uma percentagem de agregado reciclado em relação à massa do agregado natural, sendo ele graúdo ou miúdo, para a produção de concreto (TAVARES, 2016).

A autora propõe que a partir dos dados granulométricos dos agregados naturais e reciclados sejam obtidas combinações para diferentes teores de agregado reciclado em massa. Para isso, multiplicam-se as massas retidas de agregado reciclado em cada uma das peneiras pelo teor que esse agregado substituirá o natural. Esse valor deverá ser somado a parcela resultante da massa retida de agregado natural em cada peneira multiplicada pela parcela restante da massa. A Equação 2.1 apresenta como se procede o cálculo da massa retida em cada peneira para as combinações de agregados naturais e teores de agregados reciclados em concretos (TAVARES, 2016).

$$m_i = x \cdot m_{iAR} + (1 - x) \cdot m_{iAN}$$

Equação 2.1

Onde,

- m_i : massa retida na peneira “i” resultante da combinação de agregados naturais e reciclados;

- m_{iAR} : massa retida na peneira “i” da composição granulométrica dos agregados reciclados;
- m_{iAN} : massa retida na peneira “i” da composição granulométrica dos agregados naturais;
- x : teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados.

Em seguida deverão ser obtidas as porcentagens retidas acumuladas para as combinações percentuais (TAVARES, 2016).

2.3.2 Bloco de concreto com agregado de RCC reciclado

O bloco de concreto com agregado de RCC é aquele produzido com resíduos reciclados, em substituição parcial ou total aos agregados convencionais. Já que os agregados reciclados são mais porosos que os agregados de rochas britadas e areias naturais, as características de resistência e durabilidade do concreto produzido com esse tipo de agregado são controladas tanto por sua porosidade quanto pela porosidade da pasta de cimento (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

A depender da qualidade da triagem realizada no RCC e da técnica de reciclagem, o agregado de RCC pode apresentar características bem distintas de composição e porosidade. Tais características podem ser compatibilizadas com as distintas classes de resistência do bloco de concreto (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011).

O estudo desenvolvido por (LINTZ et al., 2012) analisou a influência da substituição crescente de agregado de RCC, pela massa de agregados naturais presentes na mistura de concreto seco empregados na fabricação de blocos e sua aplicabilidade de acordo com as especificações normativas brasileiras. Observou-se que a absorção de água nos blocos incrementou conforme aumentava-se a porcentagem de agregados reciclados, porém, os valores alcançados atenderam aos limites propostos pela norma para todas as dosagens. Os resultados obtidos foram satisfatórios, em relação às especificações da ABNT NBR6136:2016, o bloco produzido com substituição de 50% de agregados naturais atingiu a resistência correspondente à Classe B, da referida norma (SILVA, 2018).

Outra pesquisa que gerou resultados considerados satisfatórios para a temática, foi a empreendida por Daniel et al. (2019). Ao substituir agregados naturais por agregado de RCC na produção de blocos, obtiveram-se as resistências especificadas na norma

correspondentes à blocos de Classe B e C, com e sem função estrutural, para menores teores de substituição em massa de resíduo (SILVA, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos e as etapas adotadas para desenvolver o trabalho, organizados de maneira a atender os objetivos propostos. Tais procedimentos estão sistematizados na Figura 3.1

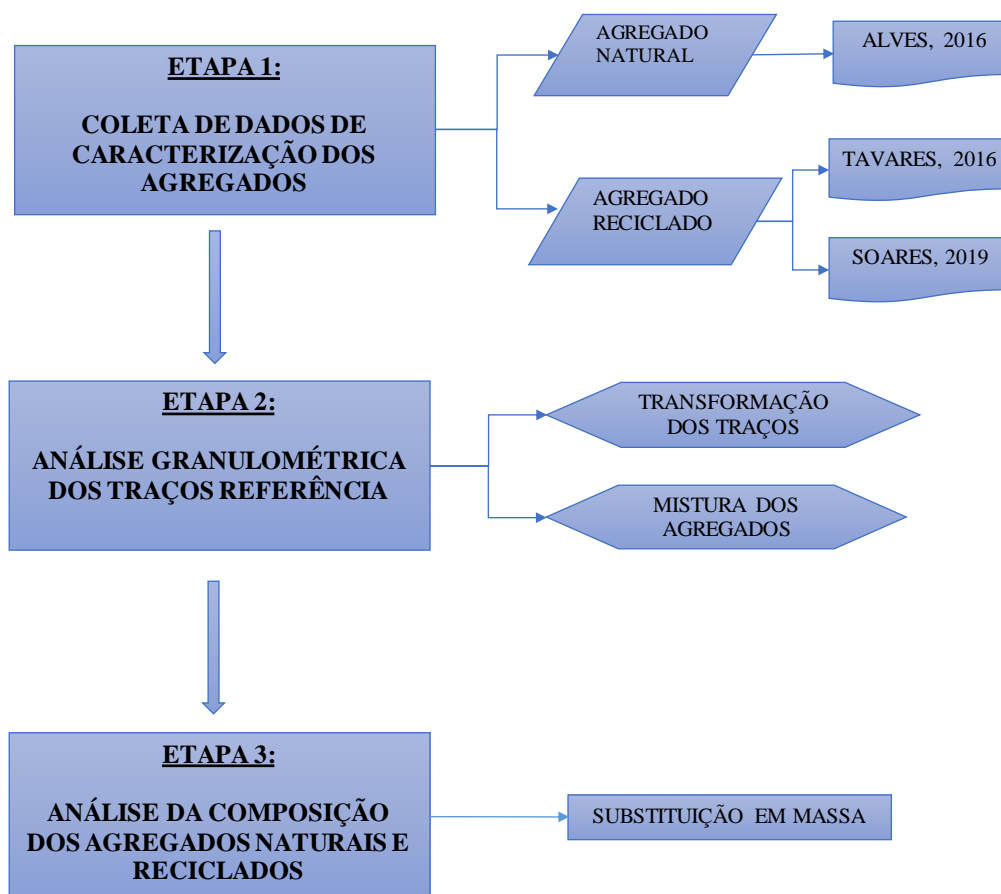


Figura 3.1 Etapas metodológicas desenvolvidas

3.1 PRIMEIRA ETAPA: COLETA DE DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A primeira etapa da pesquisa compreendeu a coleta dos dados de caracterização e posterior avaliação das características dos agregados naturais e reciclados a serem estudados. Devido a limitação do uso do Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM/UnB) no período de realização da pesquisa, por ocasião da pandemia do COVID19, os dados experimentais utilizados neste trabalho foram obtidos de pesquisas anteriores que abordaram esse tema.

3.1.1 Agregados Naturais

Os agregados naturais e naturais britados avaliados neste trabalho são oriundos do pátio de estocagem de uma fábrica de artefatos localizada no Distrito Federal e seriam utilizados na linha de produção dos blocos de concreto. O material foi coletado durante a pesquisa desenvolvida por Alves (2016), que realizou os ensaios de caracterização no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB). Na ocasião, a empresa apresentou dois traços utilizados para a fabricação dos blocos classe C e neste trabalho ambos foram utilizados como referência. Para a determinação da massa específica foram realizados os procedimentos propostos na norma NBR 9776 (1988), para massa unitária NBR NM 45 (2006) e a composição granulométrica segundo a NBR NM 248 (2003). A Tabela 3.1, Tabela 3.2, Tabela 3.3 e a Tabela 3.4, apresentam o resultado dessas caracterizações dos agregados que constituem os traços (T1) e (T2).

Tabela 3.1 Caracterização física da areia rosa

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Percentagem Retida Acumulada	
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0	0
		2,36	0,1	0
		1,18	0,3	0
		0,59	0,7	1
		0,3	6,2	7
		0,15	81,9	89
		Fundo	10,8	100
Dimensão máxima característica (mm)	NM 248:2003	0,6		
Módulo de finura (%)	NM 248:2003	0,98		
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776:1988	2,65		
Massa unitária (kg/dm ³)	NM 45:2006	1,21		

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

Tabela 3.2 Caracterização física da areia mix

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Porcentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,1	0
		2,36	36	36
		1,18	34	70
		0,59	15,7	86
		0,3	5,9	92
		0,15	2,6	94
		Fundo	5,7	100
Dimensão máxima característica (mm)	NM 248:2003		4,8	
Módulo de finura (%)	NM 248:2003		3,78	
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776:1988		2,7	
Massa unitária (kg/dm ³)	NM 45:2006		1,48	

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

Tabela 3.3 Caracterização física do pó de brita

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Porcentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0	0
		2,36	13,2	13
		1,18	30,1	43
		0,59	20,5	64
		0,3	15,2	79
		0,15	8,9	88
		Fundo	12	100
Dimensão máxima característica (mm)	NM 248:2003		4,8	
Módulo de finura (%)	NM 248:2003		2,88	
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776:1988		2,72	
Massa unitária (kg/dm ³)	NM 45:2006		1,57	

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

Tabela 3.4 Caracterização física do pedrisco

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Porcentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	49,8	50
		2,36	49,6	99
		1,18	0,5	100
		0,59	0	100
		0,3	0	100
		0,15	0	100
		Fundo	0,1	100
Dimensão máxima característica (mm)	NM 248:2003		6,3	
Módulo de finura (%)	NM 248:2003		5,49	
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776:1988		2,72	
Massa unitária (kg/dm ³)	NM 45:2006		1,41	

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

3.1.2 Agregados Reciclados

Os agregados reciclados utilizados neste trabalho foram coletados em usinas de beneficiamento de resíduos da construção civil (RCC) localizadas no Distrito Federal em épocas distintas e ensaiados na Universidade de Brasília no Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM/UnB) nas pesquisas desenvolvidas por Tavares (2016) e Soares (2019). Para a determinação da massa específica foram realizados os procedimentos propostos na norma NBR 9776 (1988), para massa unitária NBR NM 45 (2006) e a composição granulométrica segundo a NBR NM 248 (2003). A Tabela 3.5, Tabela 3.6, Tabela 3.7, Tabela 3.8, Tabela 3.9 e a Tabela 3.10, apresentam o resultado das caracterizações obtidas das pesquisas anteriormente citadas para as amostras de agregados de (RCC) reciclado que serão analisadas neste trabalho.

Tabela 3.5 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR1)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha	Percentagem	
			(mm)	Retida
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,1	0
		2,36	6,8	7
		1,18	27	34
		0,59	20,7	55
		0,3	21,4	76
		0,15	17,6	94
		Fundo	6,4	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,66		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,68		
Massa unitária	NM 45:2006	1,42		

Fonte: Adaptado de Tavares (2016)

Tabela 3.6 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR2)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha	Percentagem	
			(mm)	Retida
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,0	0
		2,36	23,2	23
		1,18	17,0	40
		0,59	12,6	53
		0,3	26,9	80
		0,15	9,8	90
		Fundo	10,4	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,86		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,44		

Fonte: Adaptado de Soares (2019)

Tabela 3.7 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR3)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Porcentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,0	0
		2,36	23,5	24
		1,18	12,9	36
		0,59	10,2	47
		0,3	23,2	70
		0,15	12,5	82
		Fundo	17,7	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,59		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,5		

Fonte: Adaptado de Soares (2019)

Tabela 3.8 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR4)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Porcentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,0	0
		2,36	14,1	14
		1,18	14,6	29
		0,59	16,6	45
		0,3	30,9	76
		0,15	12,2	88
		Fundo	11,6	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,53		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,5		

Fonte: Adaptado de Soares (2019)

Tabela 3.9 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR5)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Percentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0,0	0
		2,36	13,5	13
		1,18	9,8	23
		0,59	14,3	38
		0,3	27,4	65
		0,15	13,6	78
		Fundo	21,5	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,18		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,5		

Fonte: Adaptado de Soares (2019)

Tabela 3.10 Caracterização física do agregado miúdo reciclado (AR6)

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da malha (mm)	Percentagem	
			Retida	Acumulada
Composição granulométrica	NM 248:2003	4,75	0	0
		2,36	31,65	32
		1,18	14,03	46
		0,59	13,74	59
		0,3	16,69	76
		0,15	8,94	85
		Fundo	14,94	100
Dimensão máxima característica	NM 248:2003	4,75		
Módulo de finura	NM 248:2003	2,98		
Massa específica	NBR 9776:1988	2,51		

Fonte: Adaptado de Soares (2019)

3.2 SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS REFERÊNCIA

As proporções dos agregados utilizados pela fábrica para produzir os traços (T1) e (T2), utilizados como referência neste estudo, inicialmente estavam expressas em volume. Partiu-se então para o estudo da densidade no estado solto ou massa unitária desse material. Esta medida de densidade das partículas permite conhecer a relação de massa de agregados pelo volume aparente e apresenta-se na Equação 3.1.

$$\vartheta = M/V_{ap}$$

Equação 3.1

Onde,

- ϑ : densidade no estado solto ou massa unitária [g/cm³];
- M : massa dos agregados [g]
- V_{ap} : volume aparente [cm³]

Após o cálculo dos percentuais de cada agregado nos traços referência (T1) e (T2) em massa, procedeu-se o estudo da curva granulométrica da mistura dos agregados. Essa curva é obtida a partir da curva de cada um desses agregados, multiplicando-se o percentual de cada material por sua contribuição percentual na formulação do traço. Para isto, realizou-se a multiplicação de cada ordenada (y_i) pela percentagem com que o agregado entra na mistura (p_i) e somou-se as ordenadas correspondentes a mesma abcissa. A Equação 3.2 demonstra como procedeu-se o cálculo.

$$Y_M = \sum_{i=1}^n p_i y_i, \text{ com } \sum_{i=1}^n p_i = 100\%$$

3.3 TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS E DETERMINAÇÃO DE TEORES DE SUBSTITUIÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS COM AGREGADOS DE (RCC)

Nesta etapa do trabalho, buscou-se estudar como a substituição dos agregados naturais e naturais britados por agregados reciclados afeta a composição granulométrica dos traços utilizados como referência. Para isso, considerou-se a metodologia desenvolvida por Tavares (2016), descrita no item 2.3.1 para concretos e realizou-se a adaptação ao caso de blocos de concreto em estudo.

Para a análise foram consideradas faixas granulométricas propostas por Fernandes (2019) descritas no item 2.1.4.3.

Partindo da granulometria da mistura dos agregados obtidas para os traços (T1) e (T2) referência analisados, considerou-se a substituição gradativa dos agregados reciclados miúdos de seis amostras distintas denominadas (AR1), (AR2), (AR3), (AR4), (AR5) e (AR6). A Tabela 3.11 apresenta as nomenclaturas utilizadas na análise e sua origem na literatura.

Tabela 3.11 Nomeclaturas adotadas na metodologia

Nomenclatura adotada	Denominação	Fonte
T1	Traço 1 – referência	Alves, 2016
T2	Traço 2 - referência	Alves, 2016
AR1	Agregado miúdo Reciclado 1	Tavares, 2016
AR2	Agregado miúdo Reciclado 2	Soares, 2019
AR3	Agregado miúdo Reciclado 3	Soares, 2019
AR4	Agregado miúdo Reciclado 4	Soares, 2019
AR5	Agregado miúdo Reciclado 5	Soares, 2019
AR6	Agregado miúdo Reciclado 6	Soares, 2019

As combinações granulométricas foram realizadas de maneira que a percentagem, em massa, retida obtida para os dois traços referência (T1) e (T2) fossem combinados com todas percentagens retidas das seis amostras de agregados anteriormente citadas.

Para avaliar de que maneira as substituições afetam a curva granulométrica dos traços (T1) e (T2) foram realizadas substituições progressivas variando em teores de 1%, em massa. O estudo das composições foi realizado por meio do software Microsoft Excel 2016 considerando-se os dados obtidos na etapa anterior.

As massas retidas de cada uma das peneiras foram obtidas para cada teor de substituição (variando de 1% a 100%) por meio da Equação 3.3.

$$m_i = \left[(1 - x) * m_{ANT_j} \right] + m_{SAR_k}$$

Equação 3.3

Sendo,

- m_i : massa retida na abertura de malha “i”, onde i pode corresponder à abertura de 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,4 mm; 1,19 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm e fundo;
- x : percentual de substituição considerado, variando de 0% (traço referência) à 100% (composto totalmente de agregado reciclado);
- m_{ANT_j} : massa retida na abertura de malha correspondente para o agregado natural da composição do traço referência analisado, onde j=1 correspondente ao traço (T1) e j=2 correspondente ao traço (T2);

O termo m_{SAR_k} é referente à massa retida de substituição da amostra de agregado reciclado “k”, onde k=1 é referente à amostra (AR1), k=2 referente à amostra (AR2),

sucessivamente até a amostra (AR6), onde k=6. Estes valores foram obtidos na etapa anterior e a Equação 3.4 foi utilizada para a definição deste termo:

$$m_{S_{AR_k}} = x * m_{AN_{T_j}}$$

Equação 3.4

Em seguida, realizou-se a determinação do percentual retido acumulado dividindo-se o a massa obtida em cada peneira pelo total da massa, somando-se ao resultado obtido para a peneira antecessora.

Para a análise dos resultados, foram considerados apenas cinco percentuais de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) e a nomenclatura utilizada é a seguinte:

$$T_j AR_k . x$$

Onde,

- j = número do traço analisado [1,2];
- k= amostra de agregado reciclado analisada [1,6];
- x= percentagem de substituição.

Por exemplo, a composição denominada T1AR3.75 corresponde à composição do traço 1 (T1) com 75 % de substituição em massa da amostra de agregado reciclado (AR3).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PRIMEIRA ETAPA – AVALIAÇÃO DAS CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

4.1.1 Agregado natural

As curvas de distribuições granulométricas média dos agregados miúdos e graúdos utilizados na formulação dos traços 1 (T1) e traço 2 (T2) são mostrados na Figura 4.1 e na Figura 4.2, respectivamente. É possível observar que os três agregados miúdos possuem trechos que estão fora das faixas granulométricas recomendadas para blocos por Fernandes (2019). Esta constatação possui razoabilidade, já que será necessária uma composição dessas areias para a formulação dos traços.

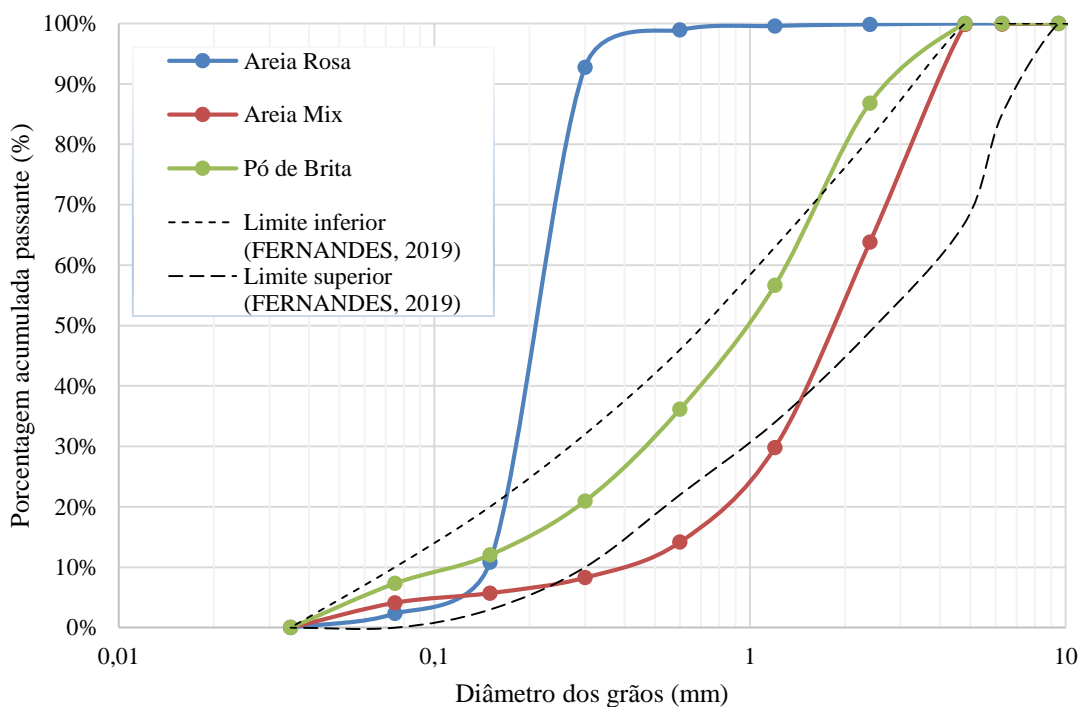


Figura 4.1 Curvas granulométricas dos agregados naturais miúdos

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

É possível observar que a areia rosa apresenta a granulometria mais uniforme dentre as obtidas para os agregados miúdos componentes do bloco. A areia mix e o pó de

brita possuem granulometria mais contínuas, estando o segundo tipo de agregado mais enquadrado nas faixas granulométricas recomendadas por Fernandes (2019).

O pedrisco possui curva granulométrica uniforme e a maior parte de suas partículas pertencem à fração granulométrica compreendida entre os diâmetros de 4,75 mm e 2,4 mm.

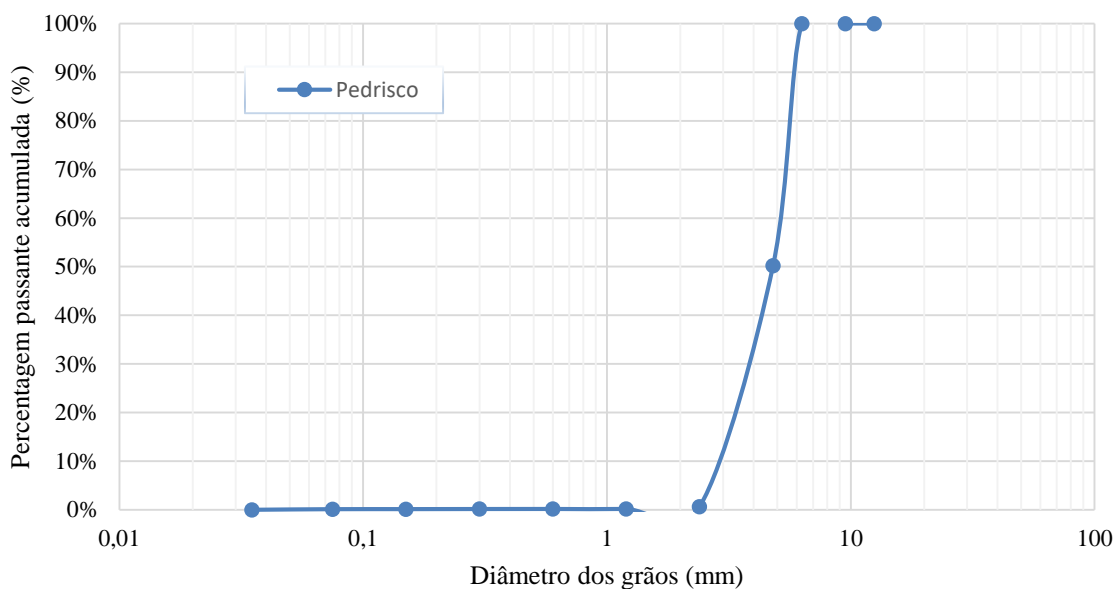


Figura 4.2 Curva granulométrica do agregado natural graúdo

Os dados de dimensão máxima característica (DMC) e módulo de finura (MF) dos agregados componentes do bloco encontram-se apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Propriedades dos agregados naturais

	Areia rosa	Areia mix	Pó de brita	Pedrisco
DMC (mm)	0,59	4,75	4,75	6,3
MF	0,98	3,78	2,88	5,49

Fonte: Adaptado de Alves (2016)

Os agregados naturais que possuem o maior módulo de finura são o pedrisco e a areia mix, respectivamente sendo, portanto, considerados os agregados mais grossos a serem utilizados nos traços. A areia rosa é o agregado natural mais fino empregado no traço, sendo seguida do pó de brita.

4.1.2 Agregado de (RCC) reciclado

As curvas granulométricas dos agregados reciclados analisados na pesquisa, apresentam-se nas Figura 4.3 (AR1) e

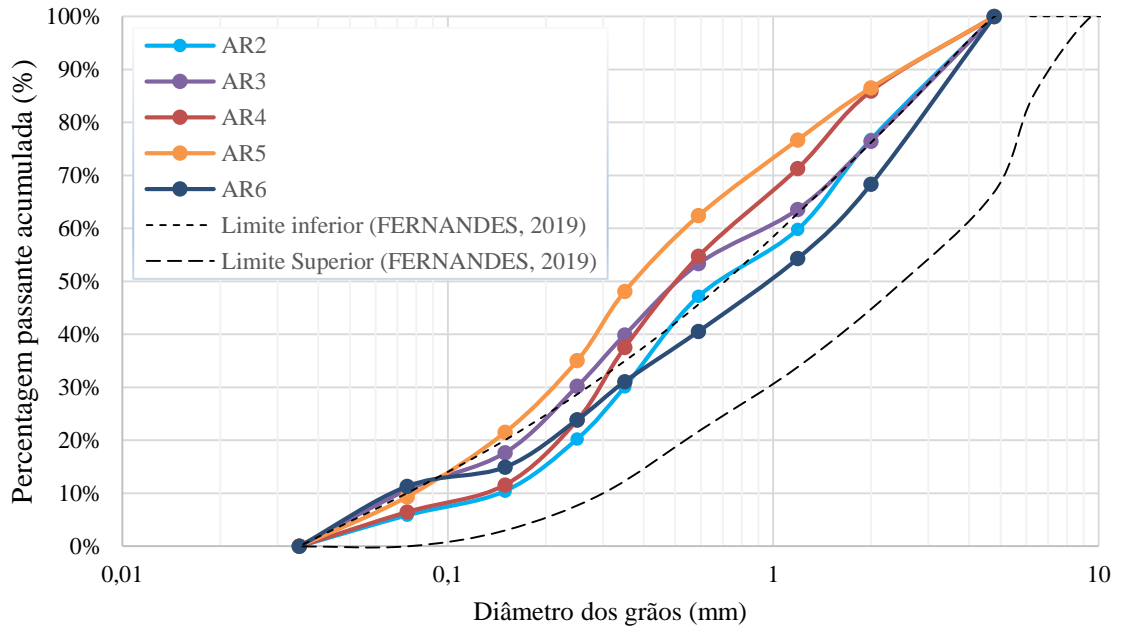


Figura 4.4 (AR2), (AR3), (AR4), (AR5) e (AR6).

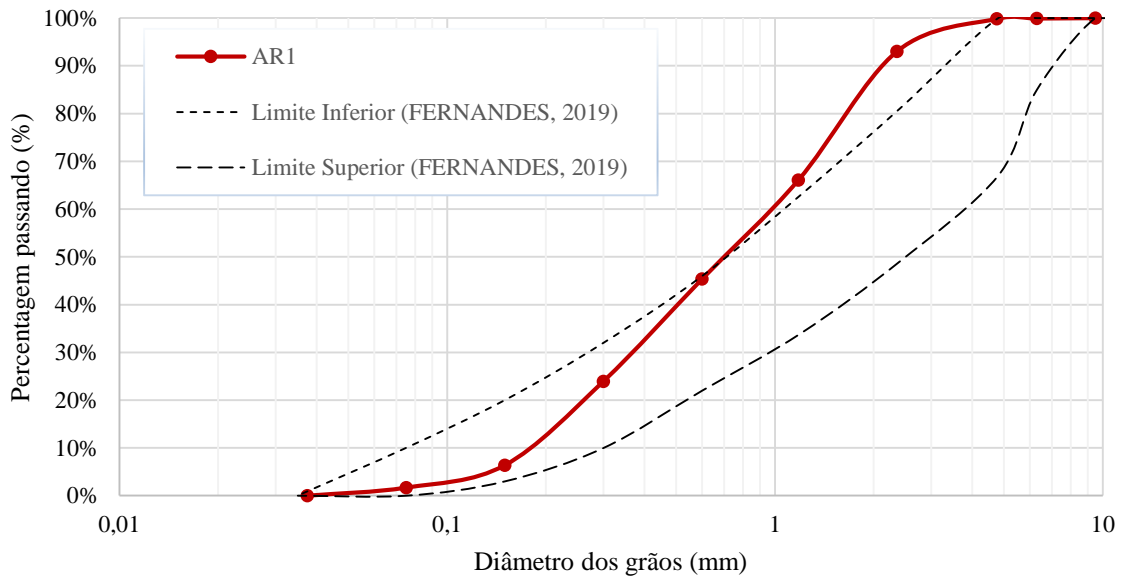


Figura 4.3 Curva granulométrica média do agregado reciclados AR1
Fonte: Adaptado de Tavares (2016)

A curva granulométrica do agregado miúdo AR1 se enquadras na faixa granulométrica adotada para análise, nas frações mais finas do agregado. A partir do diâmetro aproximado de 60 mm, os grãos apresentam-se mais finos que o limite inferior proposto para a produção de blocos.

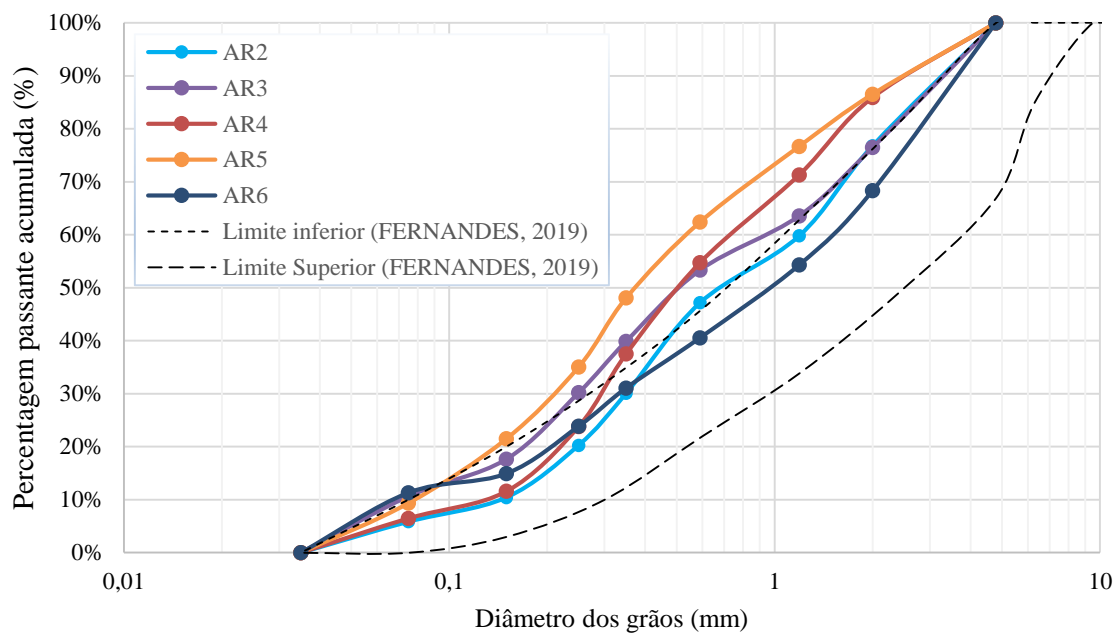


Figura 4.4 Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados (AR2, AR3, AR4, AR5 E AR6)
 Fonte: Adaptado de Soares (2019)

As amostras de agregados de RCC coletadas e ensaiadas por Soares (2019), em geral, possuem curvas bem graduadas, dentre estes, os agregados reciclados obtidos na amostra AR6 são os que melhor se enquadram na faixa granulométrica proposta por Fernandes (2019).

A comparação das propriedades granulométricas dos agregados reciclados é apresentada na Tabela 4.2. Dentre as amostras de agregados miúdos reciclados analisados, o material de granulometria mais fina é o AR5, com módulo de finura igual a (2,18) e o que possui granulometria mais grossa é a amostra AR6, em que o módulo de finura de (2,98). Todos os agregados miúdos reciclados analisados apresentam uniformidade na dimensão máxima característica (DMC) 4,75 mm.

Tabela 4.2 Propriedades granulométricas dos agregados reciclados

	MF	DMC (mm)
AR1	2,66	4,75
AR2	2,86	4,75
AR3	2,59	4,75
AR4	2,53	4,75
AR5	2,18	4,75
AR6	2,98	4,75

4.2 SEGUNDA ETAPA – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS TRAÇOS REFERÊNCIA

Conforme descrito no item 0, foi realizada transformação do traço em massa para a determinação da proporção dos agregados componentes dos traços referência. As proporções dos agregados para os dois traços considerados como referência estão apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Proporções dos agregados na mistura

	Porcentagem do agregado na mistura (%)	
	T1	T2
Areia rosa	38	10
Areia mix	-	50
Pó de brita	21	30
Pedrisco	42	10

As curvas granulométricas do traço 1 (T1) e traço 2 (T2), obtidas pelo estudo da mistura dos agregados estão apresentadas na

Figura 4.5. Comparando as curvas granulométricas obtidas, é possível observar que a composição dos agregados do traço (T2) foi a que se mostrou mais contínua e a que melhor se ajustou à faixa granulométrica recomendada para a produção de blocos de acordo com a metodologia proposta por Fernandes (2019).

A Tabela 4.4 apresenta as propriedades granulométricas obtidas na composição dos agregados para formulação dos traços. O traço (T2) apresentou maior módulo de finura (3,36).

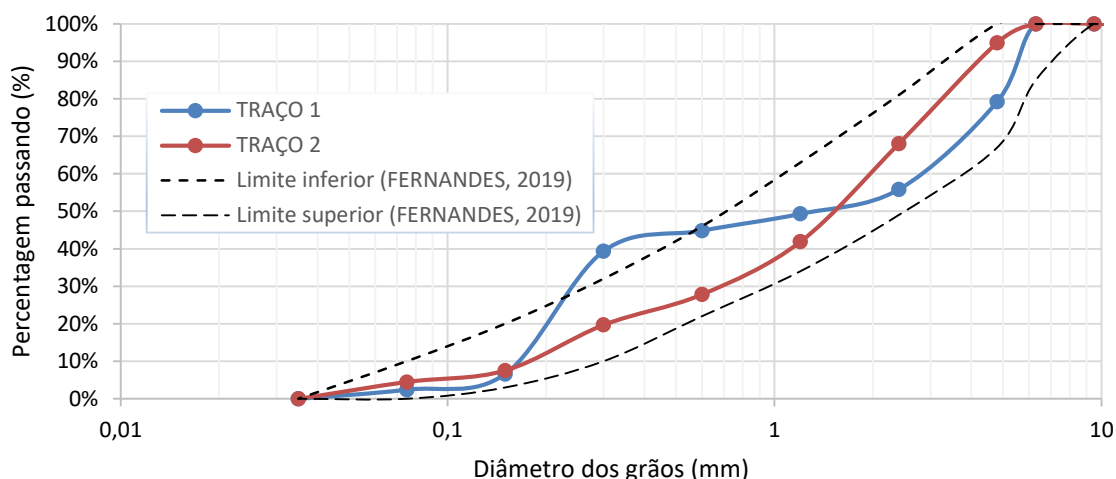


Figura 4.5 Curva granulométrica dos traços referência (T1 e T2)

Tabela 4.4 Parâmetros granulométricos da mistura de agregados dos traços (T1) e (T2)

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)	
	T1	T2
12,5	100	100
9,5	100	100
6,3	100	100
4,8	79	100
2,4	56	95
1,2	49	68
0,6	45	42
0,3	39	28
0,15	7	20
0,075	2	8
Fundo	0	5
MF	3,25	3,36
DMC (mm)	6,3	4,75

4.3 TERCEIRA ETAPA – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS

4.3.1 Composições a partir do traço (T1)

O primeiro caso analisado foi o da substituição progressiva dos agregados reciclados AR1 no traço 1 (T1). O gráfico apresentado na Figura 4.6 mostra as curvas granulométricas obtidas a partir da substituição em massa para quatro teores 25%, 50%, 75% e 100%, além da curva do próprio traço (T1).

As curvas granulométricas obtidas mostraram que a substituição progressiva do agregado natural pelo reciclado suavizou a curva inicial do traço referência (T1), que passou a ser mais contínua à medida em que se aumentavam os teores. Dentre os casos apresentados, o que mais se enquadra nos limites considerados adequados à produção de blocos do método proposto por Fernandes (2019) é o de 75% de substituição, seguido do caso de 50% de substituição. Nestes casos, a substituição conferiu ao traço uma melhor adequação às faixas recomendadas próximo ao limite inferior, o que confere ao produto um melhor acabamento, segundo o método.

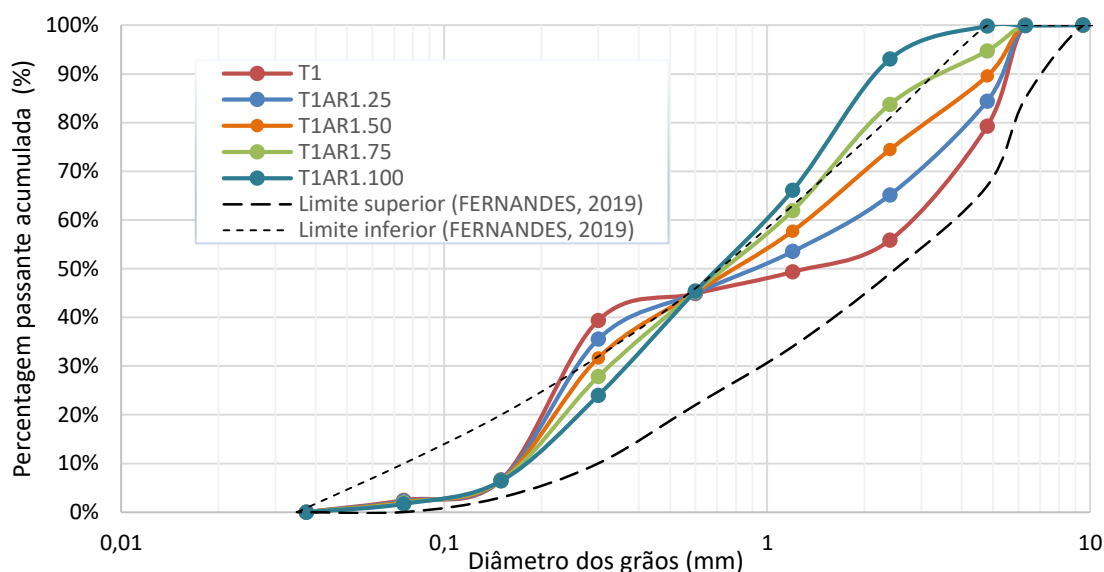


Figura 4.6 Composição granulométrica - Combinações T1AR1

As propriedades granulométricas das combinações analisadas encontram-se na Tabela 4.5. Dentre as substituições avaliadas, a que possui o maior módulo de finura é a de teor de 25% de substituição (3,10) e o de menor módulo de finura é a combinação com teor de 100% de substituição (2,65). A partir da substituição de teor 75% é possível notar a redução do diâmetro máximo característico, que passa de (6,3) para (4,75).

Tabela 4.5 Propriedades granulométricas da combinação T1AR1

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T1	T1AR1.25	T1AR1.50	T1AR1.75	T1AR1.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	65	74	84	93
1,2	49	54	58	62	66
0,6	45	45	45	45	45
0,3	39	36	32	28	24
0,15	7	7	7	6	6
0,075	2	2	2	2	2
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	3,10	2,95	2,80	2,65
DMC	6,3	6,3	6,3	4,75	4,75

Fonte: Autoria própria

O segundo caso analisado foi o da combinação do traço (T1) com o agregado reciclado (AR2) e suas curvas granulométricas resultantes, para diferentes teores, encontram-se na Figura 4.7. Neste caso, a medida em que se aumentou o teor de substituição, aumentou-se a fração correspondente ao diâmetro de 30mm e reduziu-se a correspondente à 60mm. Tal fato, proporcionou às composições um melhor ajuste à faixa granulométrica recomendada para blocos por Fernandes (2019), próximas ao limite inferior, o que confere às peças um acabamento mais fino, segundo o autor.

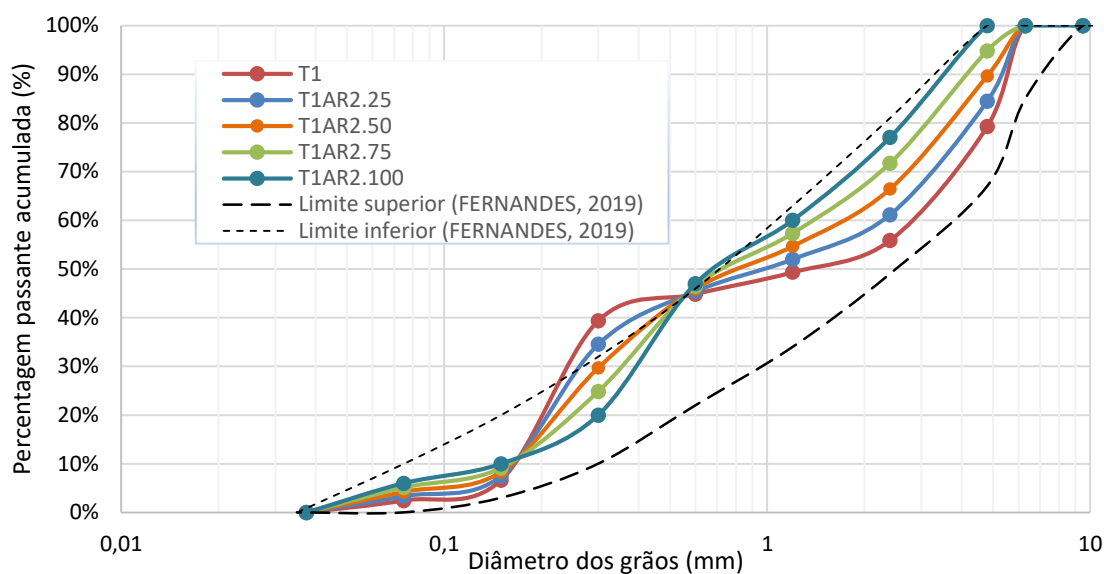


Figura 4.7 Composições granulométricas – Combinação T1AR2

As substituições testadas para esta amostra de agregados resultaram em um maior módulo de finura em todos os casos, em relação à amostra anterior (AR1). Assim como na combinação anterior, a partir do teor de 75% houve uma redução do diâmetro máximo característico da mistura Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Propriedades granulométricas da combinação T1AR2

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)				
	T1	T1AR2.25	T1AR2.50	T1AR2.75	T1AR2.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	61	66	72	77
1,2	49	52	55	57	60
0,6	45	45	46	46	47
0,3	39	35	30	25	20
0,15	7	7	8	9	10
0,075	2	3	4	5	6
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	3,15	3,05	2,96	2,86
DMC	6,3	6,3	6,3	4,75	4,75

A terceira análise é resultante da combinação do traço (T1) com o agregado reciclado (AR3), as curvas granulométricas para os diversos teores de substituição em massa analisados são mostradas na Figura 4.8. É possível inferir do gráfico que aproximadamente a partir da faixa compreendida os 20 mm e os 60 mm os agregados apresentam-se mais finos que o limite inferior proposto por Fernandes (2019).

Em geral, essa combinação é a que resultou em um menor módulo de finura para todos os casos de substituição analisados anteriormente. Tais valores estão apresentados na Tabela 4.7.

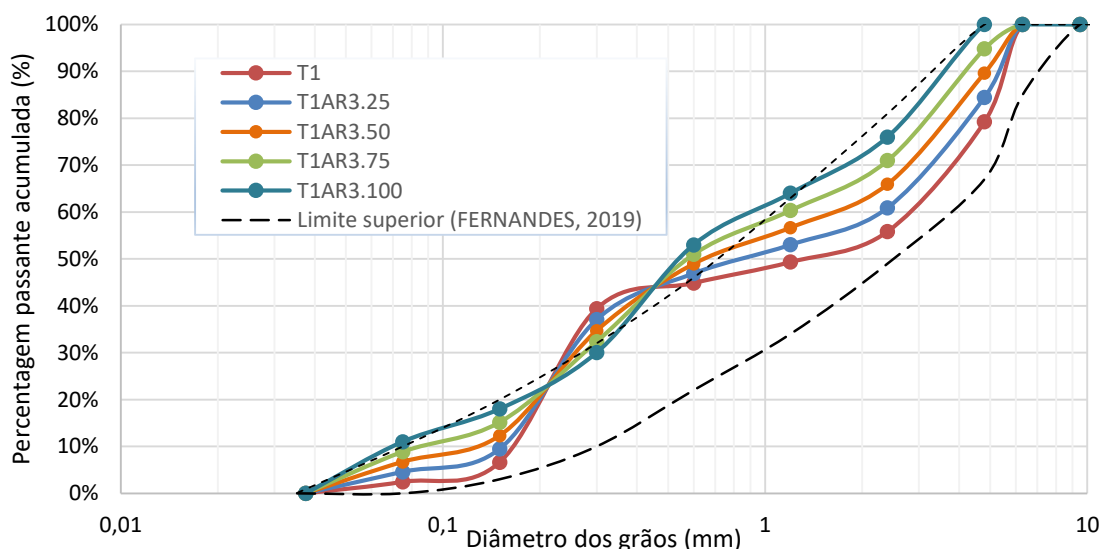


Figura 4.8 Composições granulométricas - Combinação T1AR3

Tabela 4.7 Propriedades granulométricas da combinação T1AR3

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)				
	T1	T1AR3.25	T1AR3.50	T1AR3.75	T1AR3.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	61	66	71	76
1,2	49	53	57	60	64
0,6	45	47	49	51	53
0,3	39	37	35	32	30
0,15	7	9	12	15	18
0,075	2	5	7	9	11
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	3,08	2,92	2,75	2,59
DMC	6,3	6,3	6,3	4,75	4,75

As composições granulométricas resultantes da combinação do traço (T1) com a amostra de agregado reciclado (AR4) para diferentes teores de substituição em massa encontram-se na Figura 4.9. Neste caso de substituição, até aproximadamente o diâmetro 25 mm, todos os teores de substituição adequam-se às faixas granulométricas recomendadas para blocos. A partir dessa dimensão, tanto o traço (T1) quanto a combinação para substituição de teor 25% passam a ser mais finas que o limite inferior proposto. A partir do diâmetro aproximado de 45 mm ocorre uma inversão das curvas e a curva correspondente à 100% de substituição passa a ter grãos mais finos que os grãos do limite inferior recomendado para blocos, que pode representar uma menor resistência das peças.

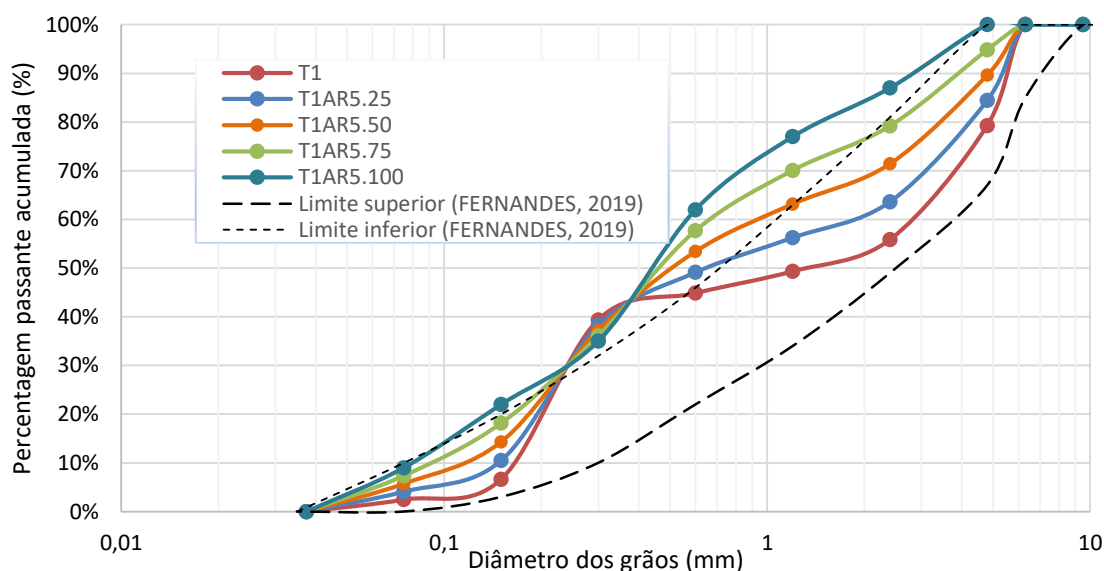


Figura 4.9 Composições granulométricas - Combinação T1AR4

As propriedades granulométricas encontradas para a combinação T1AR4 são apresentadas na Tabela 4.8. É possível observar que o DMC reduz de (6,3) para (4,75) a partir da substituição por um teor de 75% de agregado reciclado (AR4). O aumento da porcentagem acumulada passante nas frações granulométricas com diâmetro entre 475 mm e 60 mm, também pôde ser notado, quando comparado à composição do traço referência (T1). A partir da fração correspondente ao diâmetro 30 mm, nota-se uma redução da porcentagem retida passante, o que indica que os grãos passam a ser mais finos.

Tabela 4.8 Propriedades granulométricas da combinação T1AR4

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T1	T1AR4.25	T1AR4.50	T1AR4.75	T1AR4.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	63	71	78	86
1,2	49	55	60	66	71
0,6	45	47	50	52	55
0,3	39	36	32	28	24
0,15	7	8	9	11	12
0,075	2	3	4	5	6
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	3,07	2,88	2,70	2,52
DMC	6,3	6,3	6,3	4,8	4,8

A combinação do traço T1 com diferentes teores em massa de agregados reciclados AR5 resultou nas curvas granulométricas encontradas na Figura 4.10. Para este caso, a substituição dos agregados naturais por um teor de 100 % de agregados reciclados não atende aos limites recomendados por Fernandes (2019), sendo essa composição mais fina que o limite inferior. Para os casos de 25% e 50% de substituição, a fração granulométrica compreendida entre 15 mm e 120 mm de diâmetro mostra-se mais fina que o limite inferior utilizado nesta análise.

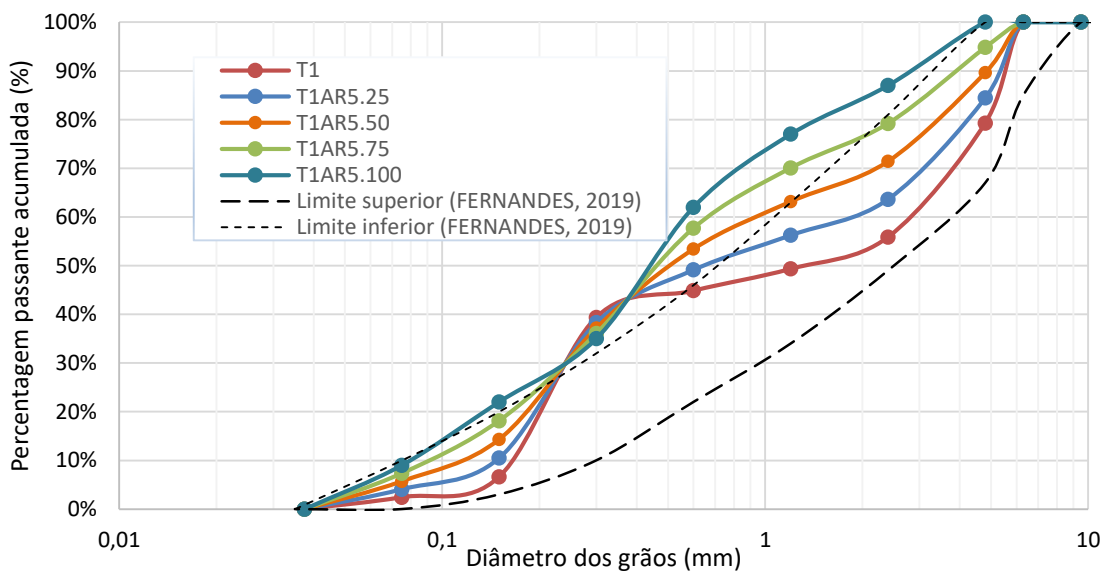


Figura 4.10 Composições granulométricas – Combinação T1AR5

A Tabela 4.9 apresenta as propriedades granulométricas da combinação T1AR5, onde é possível confirmar que o caso de substituição total em massa do agregado natural pelo reciclado (T1AR5) apresenta um módulo de finura muito baixo, o que implica em partículas muito finas. Materiais muito finos aumentam a área superficial, implicando numa maior necessidade de pasta de cimento, o que pode ocasionar um aumento no consumo de cimento.

Tabela 4.9 Propriedades granulométricas da combinação T1AR5

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T1	T1AR5.25	T1AR5.50	T1AR5.75	T1AR5.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	64	71	79	87
1,2	49	56	63	70	77
0,6	45	49	53	58	62
0,3	39	38	37	36	35
0,15	7	10	14	18	22
0,075	2	4	6	7	9
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	2,98	2,71	2,44	2,17
DMC	6,3	6,3	6,3	4,8	4,8

A combinação analisada para o traço (T1) e a amostra de agregado reciclado AR6 para diferentes teores de substituição pode ser visualizada na Figura 4.11. Esta combinação resultou numa adequação aos limites recomendados a medida em que se aumentou os teores de substituição. A partir da substituição de 50% dos agregados, as curvas passaram a se adequar melhor aos limites, sendo o caso de 75% de substituição o que melhor se enquadrou. A curva granulométrica correspondente à 100% de substituição apresentou-se a mais suave dentre as analisadas no caso, podendo ser considerada a mais bem graduada ou contínua.

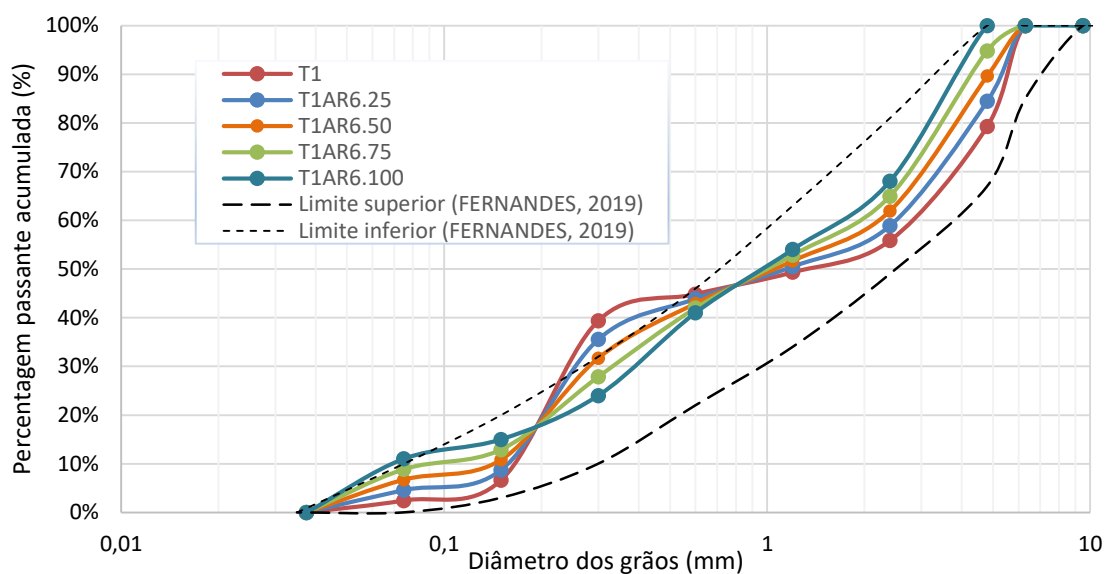


Figura 4.11 Composições granulométrica – Combinação T1AR6

A seguir, a Tabela 4.10 mostra as propriedades granulométricas da combinação T1AR6 para todos os casos de substituição, o módulo de finura chegou à (2,98) no caso de substituição de 100% do agregado natural ao reciclado.

Tabela 4.10 Propriedades granulométricas da combinação T1AR6

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T1	T1AR6.25	T1AR6.50	T1AR6.75	T1AR6.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	84	90	95	100
2,4	56	59	62	65	68
1,2	49	51	52	53	54
0,6	45	44	43	42	41
0,3	39	36	32	28	24
0,15	7	9	11	13	15
0,075	2	5	7	9	11
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,25	3,18	3,11	3,05	2,98
DMC	6,3	6,3	6,3	4,8	4,8

4.3.2 Composições a partir do traço (T2)

As curvas granulométricas da combinação T2AR1 para diferentes teores estão apresentadas na Figura 4.12. É possível notar que as composições obtidas com 25% e 50% de substituição mostram-se adequadas aos limites propostos para a produção de blocos, sendo a (T2AR1.25) a que mais se aproxima da curva obtida para o traço referência (T2). A substituição de 100% se adequa aos limites quando o diâmetro dos grãos é inferior a 60 mm e a substituição de 75% mostra-se adequada até o diâmetro aproximado de 120 mm.

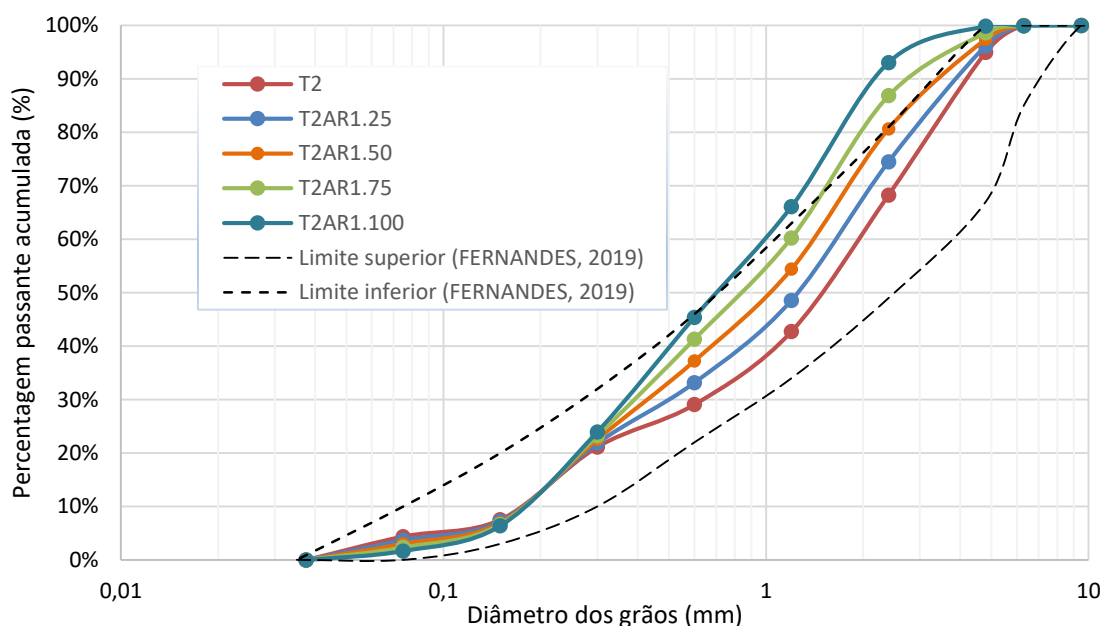


Figura 4.12 Composições granulométrica – Combinação T2AR1

As propriedades granulométricas desta combinação estão mostradas na Tabela 4.11. É possível notar que o diâmetro máximo característico se manteve constante para todos os casos de substituição desta combinação. Para a combinação (T2AR1.25) o módulo de finura encontrado foi de (3,19), o que representa redução de cerca de 5% em relação ao módulo de finura do traço referência (T2) de (3,36).

Tabela 4.11 Propriedades granulométricas da combinação T2AR1

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T2	T2AR1.25	T2AR1.50	T2AR1.75	T2AR1.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	95	96	97	99	100
2,4	68	74	81	87	93
1,2	43	49	54	66	66
0,6	29	33	37	45	45
0,3	21	22	23	24	24
0,15	8	7	7	6	6
0,075	4	4	3	2	2
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,19	3,01	2,83	2,65
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

As curvas granulométricas obtidas para a combinação (T2AR2) são mostradas na Figura 4.13. Este caso de combinação granulométrica mostrou-se satisfatório para todos os percentuais de substituição do agregado natural pelo reciclado. No caso de substituição de 100%, a porcentagem que passa na malha de diâmetro de 60 mm é ligeiramente superior ao limite recomendado. É possível notar pelo gráfico que até a fração correspondente ao diâmetro de 30 mm, as curvas se assemelham ao traço referência (T2) e a partir deste diâmetro, os grãos se tornam mais finos.

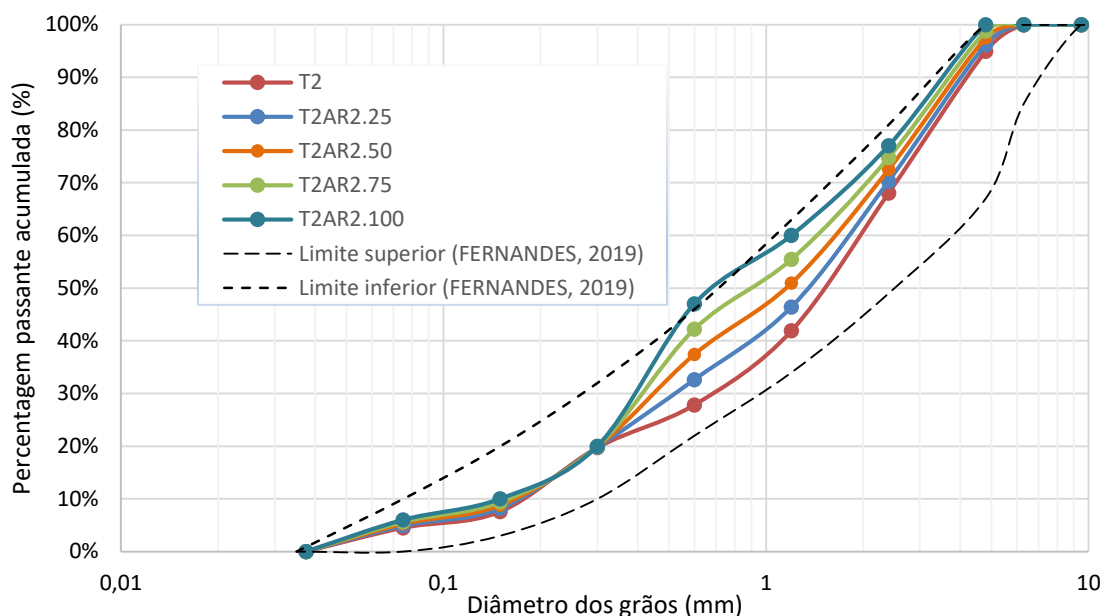


Figura 4.13 Composição granulométrica - Combinação T2AR2

Esta combinação apresentou módulos de finura (2,86) na substituição total dos agregados naturais pelos reciclados (AR2), reduzindo cerca de 17% em relação ao módulo de finura do traço referência (T2). Os dados obtidos de propriedades granulométricas desta combinação se encontram na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 Propriedades granulométricas da combinação T2AR2

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)				
	T2	T2AR2.25	T2AR2.50	T2AR2.75	T2AR2.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	95	96	97	99	100
2,4	68	70	73	75	77
1,2	42	46	51	55	60
0,6	28	33	37	42	47
0,3	20	20	20	20	20
0,15	8	8	9	9	10
0,075	5	5	5	6	6
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,27	3,13	3,00	2,86
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Para a combinação (T2AR3) foram obtidas as curvas granulométricas apresentadas na Figura 4.14. Para a substituição de 100% de agregado natural pelo reciclado, a fração compreendida entre os diâmetros de 30 mm e 120 mm não se adequou aos limites recomendados por Fernandes (2019) para a produção de blocos. Para o caso de substituição de 75% os grãos de diâmetro 60 mm encontram-se ligeiramente fora deste mesmo limite. Os demais casos de substituição, de 25% e 50% estão dentro das faixas granulométricas recomendadas para blocos.

As frações granulométricas compreendidas entre o diâmetro de 30 mm e 240 mm apresentam-se mais distantes do traço referência (T2) e mais próximos ao limite inferior a medida em que se aumentam os teores de substituição.

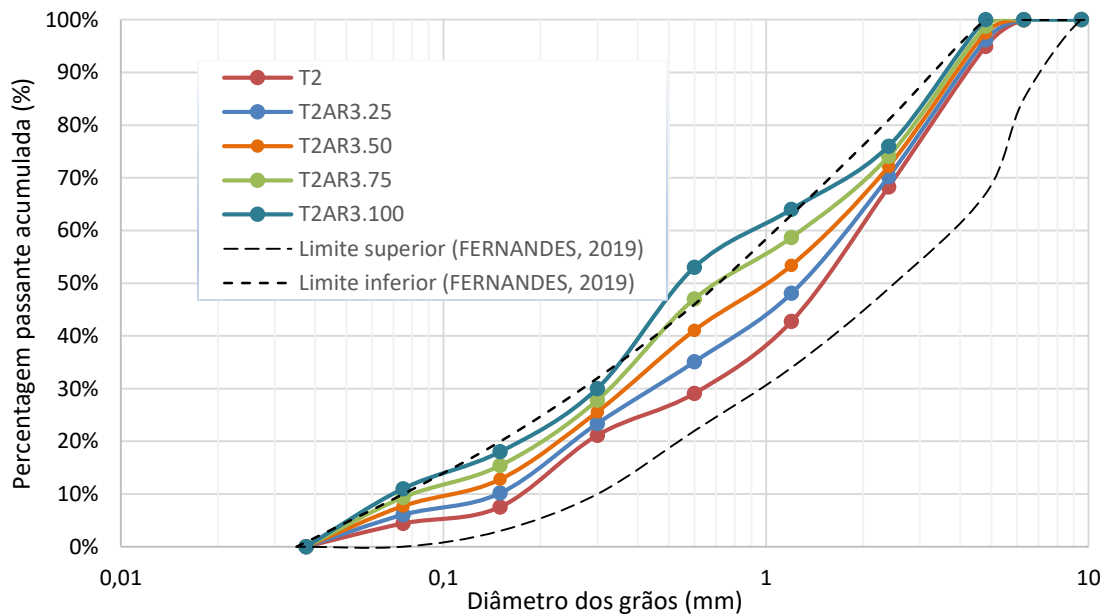


Figura 4.14 Composições granulométricas – Combinação T2AR3

Na Tabela 4.13 estão apresentadas as propriedades granulométricas obtidas na combinação (T2AR3). Para o caso de substituição total, o módulo de finura reduziu cerca de 30% em relação ao módulo de finura obtido para o traço referência (T2).

Tabela 4.13 Propriedades granulométricas da combinação T2AR3

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)				
	T2	T2AR3.25	T2AR3.50	T2AR3.75	T2AR3.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	95	96	97	99	100
2,4	68	70	72	74	76
1,2	43	48	53	59	64
0,6	29	35	41	47	53
0,3	21	12	26	28	30
0,15	8	10	13	15	18
0,075	4	6	8	9	11
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,17	2,98	2,78	2,59
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

O gráfico apresentado na Figura 4.15 mostra as curvas granulométricas obtidas na combinação (T2AR4) para diferentes teores de substituição. Nesta combinação, as curvas se assemelham à do traço referência (T2) nos grãos de diâmetro aproximado de 30 mm. A partir deste diâmetro nota-se que os grãos passam a ser mais finos que o de (T2) a medida em que se aumentam os teores de agregado de RCC reciclado, ultrapassando o limite inferior proposto por Fernandes (2019) nos casos de 75% e 100% a partir do diâmetro aproximado de 40 mm. As substituições percentuais de 25% e 50% se adequam aos limites recomendados.

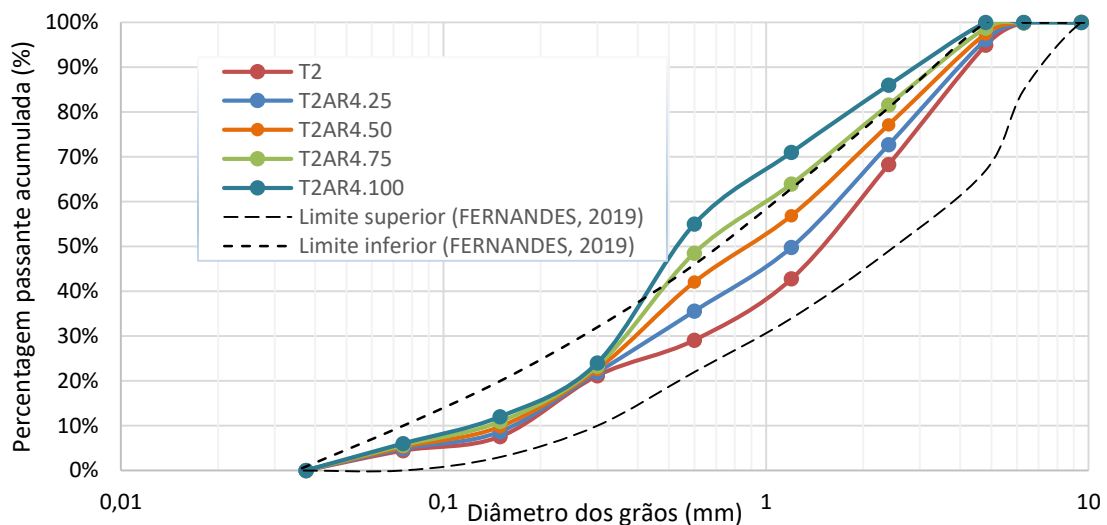


Figura 4.15 Composições granulométricas - Combinação T2AR4

Na Tabela 4.14 estão descritas as propriedades granulométricas resultantes da combinação (T2AR4) para diferentes teores de substituição. É possível notar que o módulo de finura reduziu cerca de 33% comparando-se o caso de substituição total e o do traço (T2).

Tabela 4.14 Propriedades granulométricas da combinação T2AR4

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T2	T2AR4.25	T2AR4.50	T2AR4.75	T2AR4.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	95	96	97	99	100
2,4	68	73	77	82	86
1,2	43	50	57	64	71
0,6	29	36	42	49	55
0,3	21	22	23	23	24
0,15	8	9	10	11	12
0,075	4	5	5	6	6
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,15	2,94	2,73	2,52
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Para a combinação (T2AR5) apresentam-se as curvas granulométricas resultantes das substituições de diferentes teores na Figura 4.16. Os teores de 25% e 50% de substituição analisados, atendem aos limites recomendados e é possível observar que a percentagem das partículas de 60 mm no caso de 50% de substituição se aproxima consideravelmente do limite, mas não o ultrapassa.

Nesta combinação, o caso de 100% de substituição praticamente não se enquadra nas faixas recomendadas por Fernandes (2019) para blocos e o caso de 75% de substituição apresenta percentuais acima do limite inferior proposto a partir do diâmetro de 30 mm.

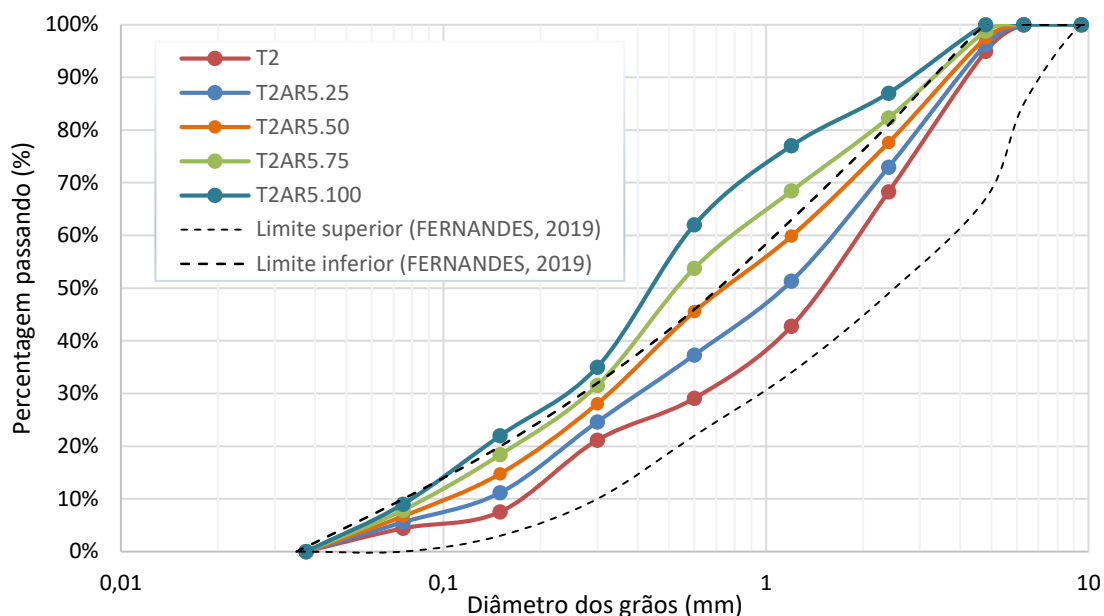


Figura 4.16 Composições granulométricas - Combinação T2AR5

As propriedades granulométricas encontradas para esta combinação são apresentadas na Tabela 4.15. Neste caso, o módulo de finura reduz cerca de 54% comparando-se os casos extremos, ou seja, caso de substituição total com o do traço referência (T2).

Tabela 4.15 Propriedades granulométricas da combinação T2AR5

Abertura da malha (mm)	Porcentagem acumulada passante (%)				
	T2	T2AR5.25	T2AR5.50	T2AR5.75	T2AR5.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	95	96	97	99	100
2,4	68	73	78	82	87
1,2	43	51	60	68	77
0,6	29	37	46	54	62
0,3	21	25	28	32	35
0,15	8	11	15	18	22
0,075	4	6	7	8	9
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,06	2,77	2,47	2,17
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

O último caso de composição granulométrica analisado é o resultante da combinação (T2AR6), as curvas granulométricas para os diferentes teores de substituição estão apresentadas na Figura 4.17. Esta combinação, foi a que melhor atendeu à faixa granulométrica recomendada para a produção de blocos proposta por Fernandes (2019).

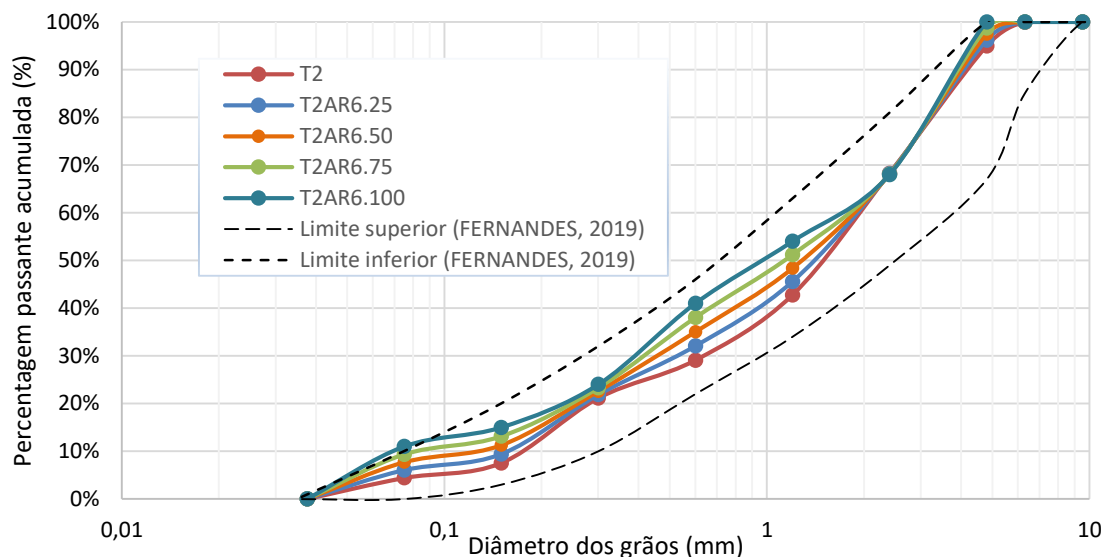


Figura 4.17 Composições granulométricas – Combinação T2AR6

A Tabela 4.16, apresenta as propriedades granulométricas encontradas para essa combinação. O módulo de finura reduziu cerca de 13% em relação ao módulo de finura obtido para o traço referência (T2).

Tabela 4.16 Propriedades granulométricas da combinação T2AR6

Porcentagem acumulada passante (%)					
Abertura da malha (mm)	T2	T2AR6.25	T2AR6.50	T2AR6.75	T2AR6.100
9,5	100	100	100	100	100
6,3	100	100	100	100	100
4,8	79	96	97	99	100
2,4	56	68	68	68	68
1,2	49	46	48	51	54
0,6	45	32	35	38	41
0,3	39	22	23	23	24
0,15	7	9	11	13	15
0,075	2	6	8	9	11
Fundo	0	0	0	0	0
MF	3,36	3,27	3,17	3,08	2,98
DMC	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo obter curvas granulométricas adequadas à produção de blocos de concreto sem função estrutural a partir da substituição em massa de teores de agregados de resíduo da construção civil (RCC). Buscou-se assim, compreender de que maneira a substituição de diferentes teores de agregados de (RCC) reciclados afetam as curvas granulométricas das composições de traços, comparando-as à limites considerados “ideais” para a produção de blocos.

Foram levados em consideração nas análises apenas as características e propriedades granulométricas dos materiais componentes dos traços do bloco e de agregados reciclados, ambos produzidos, coletados e caracterizados no Distrito Federal. Em função das restrições de circulação impostas pela pandemia de COVID-19 enfrentada a nível mundial, os dados utilizados neste trabalho foram oriundos de pesquisas anteriores realizadas na Universidade de Brasília, que abordaram o tema de blocos de concreto (ALVES, 2016) e agregados de RCC reciclados (TAVARES, 2016) e (SOARES, 2019).

Em relação às análises das caracterizações obtidas em pesquisas anteriores para os agregados, notou-se que tanto os agregados naturais, quanto os reciclados individualmente possuem frações granulométricas que não se adequam aos limites propostos para blocos por Fernandes (2019). Notou-se que das amostras de agregados reciclados obtidas, as que mais se adequaram à faixa limite proposta foram a (AR2) e a (AR6). Quanto aos agregados naturais, tal discordância é superada após a mistura dos agregados nas proporções dos traços, principalmente no traço (T2). O traço (T1) apresenta uma fração granulométrica que não se adequa, mesmo considerando a mistura dos agregados, às faixas limite consideradas neste trabalho.

A partir do desenvolvimento da metodologia de substituição granulométrica em massa dos agregados, foi possível verificar como as curvas granulométricas se alteram com a mistura de teores de agregado reciclados. Para combinações entre os traços (T1) e (T2) e as amostras de agregado de RCC reciclado, os melhores resultados foram obtidos para as amostras (AR2) e (AR6) de agregados reciclados, o que confirma a constatação inicial de que essas amostras se enquadravam melhor aos limites quando não combinadas.

Considerando-se o módulo de finura, este reduziu cerca de 10% na combinação (T1AR6), comparando-se o traço (T1) com a substituição de 100% da amostra (AR6); e reduziu cerca de 13%, na combinação (T2AR6), para os casos de 0% de substituição (T2) e 100% de substituição (T2AR6). Observou-se ainda que a medida em que se aumentou o teor de substituição de agregados reciclados, o módulo de finura reduziu em todos os casos.

Ao realizar as substituições em massa de teores de agregado reciclado no traço (T1), observou-se que na maior parte dos casos de análise, teores mais elevados de agregado reciclado modificaram a curva granulométrica inicial de maneira a enquadrá-la dentro da faixa granulométrica recomendada para blocos por Fernandes (2019).

Para os casos analisados de substituição em relação ao traço (T2), os resultados foram ainda mais relevantes, já que este traço (T2) já se enquadrava inicialmente dentro das faixas granulométricas propostas na literatura para a produção de blocos. Assim, em um dos casos analisados (T2AR6), a substituição de 100% de agregado natural pelo reciclado adequou-se às faixas consideradas “ideais” para blocos.

Portanto, baseado nas análises granulométricas realizadas no trabalho, pode-se concluir que a substituição de teores de agregados naturais pelos agregados reciclados de RCC tende a ser viável do ponto de vista granulométrico. Isto sugere um caminho interessante de destinação aos resíduos gerados pela construção civil.

É importante salientar que se faz necessária uma nova visão acerca dos materiais de construção, tendo em vista que os recursos naturais são finitos e seu uso ineficiente e intensivo gera desequilíbrio aos sistemas. Desta maneira, cabe ao setor incentivar a correta destinação, segregação e aplicação dos resíduos que produz, mas sobretudo incentivar o uso racional dos materiais afim de mitigar a geração de resíduos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros se podem citar:

- Avaliação do ciclo de vida modular para blocos de concreto produzidos com agregados de RCC reciclados;
- Determinação da composição e dosagem de blocos de concreto através da curva granulométrica das frações ativas e inertes do concreto seco;
- Estudo do empacotamento de partículas para a elaboração de traços adequados à substituição de agregados naturais por reciclados na produção de blocos;
- Avaliação do controle de qualidade dos agregados de RCC reciclados produzidos no Distrito Federal;
- Validar as curvas granulométricas obtidas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos, 2004.

ABNT. NBR NM 248 - Determinação da composição granulométrica, 2003.

ABNT. NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.

ABNT. NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação, 2009.

ABNT. NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio, 1988.

ABNT. NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos, 2009.

ABNT. ABNT NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples Para Alvenaria - Requisitos, 2016.

ABNT. NBR 11768 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos, 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Sólidos. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019, 2019. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>.

ALBUQUERQUE, S. M. DE. Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 88p., 2005.

ALVES, L. DE S. Influência da Adição de Fibras de Celulose (Papel Kraft) nas Características dos Blocos de Concreto Não Estrutural. Universidade de Brasília, p. 150. [Distrito Federal], 2016.

ÂNGULO, S. C. Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência em suas Características no Comportamento de

Concretos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ANGULO, S.; FIGUEIREDO, A. **Concreto Com Agregados Reciclados.** Concreto: Ciência E Tecnologia, n. January 2011, p. 1731–1767, 2011.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Manual técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras.** Brasília: SEBRAE/DF. 2007. 48 p.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002 Publicada no DOU n. p. 590–602, 2002.**

BUTTLER, A. M. et al. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos De Alvenaria Estrutural.** Tese de doutorado. 499p. Universidade de São Paulo [São Carlos], 2007.

CORRÊA, C. A. R. **Influência das Frações Granulométricas de Agregados Miúdos Reciclados no Comportamento de Argamassas de Cimento.** Tese de doutorado. 246p. Universidade de Brasília: [Distrito Federal].

DANIEL, W. K. et al. **Análise das características físicas e propriedades mecânicas de blocos de concreto com uso de resíduos de construção e demolição (RCD).** p. 1–18, 2017.

DHIR, R. K. et al. **Sustainable Construction Materials.** Elsevier, 2019.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers. Produção e Controle de Qualidade.** 8. ed. Ribeirão Preto - SP: Treino Acessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2019.

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), p. 46, 2012.

FERREIRA JÚNIOR, S. **Boletim Técnico 107 - Produção de blocos de concreto para alvenaria.** ABCP, v. 3, p. 17, 1995.

Federação das Indústrias do Rio de Janeiro – FIRJAN (2014), **Construção Civil: Desafios 2020.** FIRJAN, Rio de Janeiro.

FRASSON JUNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo**

produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural. p. 146, 2000.

FRASSON JÚNIOR, A. et al. **Caderno Técnico Alvenaria Estrutural Parte 1 - Metodologia de dosagem para blocos de concreto empregados em alvenaria estrutural.** n. 11, p. 33–39, 2002.

GUO, Z. et al. **Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates.** Journal of Cleaner Production, v. 199, p. 136–149, 2018.

HERMANN, A. **Empacotamento de Agregados Reciclados para Concretos Vibrocompactados.** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, p. 171, 2016.

JOHN, V. M. **Materiais de construção e o meio ambiente.** [s.l: s.n.].

KARPINSK, L. A.; GUIMARÃES, J. **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil - Uma Abordagem Ambiental.** [s.l.] EdiPUCRS, 2009.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição .** [s.l: s.n.].

LINTZ, R. C. C. et al. **Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 5, n. 2, p. 166–181, 2012.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. **A Reciclagem de Resíduos Sólidos no Brasil: 1986 - 2008.** Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009.

MOREIRA, L. H. H. **Avaliação Da Influência Da Origem E Do Tratamento E Demolição No Desempenho Mecânico Do Concreto.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 106, 2010.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a Dosagem e Produção de Peças de Concreto para Pavimentação.** Universidade Federal de Santa Catarina, p. 296p., 2004.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas.** p. 246, 2007.

SILVA, A. H. M. S. R. A. DA H. E. **Brazilian Journal of Development**. J. of Develop, v. 6, n. 1, p. 4303–4308, 2018.

SILVA, R. B. DA et al. Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade. Ambiente Construído, v. 15, n. 4, p. 335–349, 2015.

SOARES, R. A. O. (2019). **Utilização de Agregado Reciclado na Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural.** Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 60p.

SOTO, N. T. A. **Avaliação do Uso de Agregado de Construção Civil nas Propriedades do Concreto No Slump para Fabricação de Artefatos de Concreto.** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, p. 171, 2017.

SOUSA, J. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto: Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Universidade de Brasília, p. 142, 2001.

TAVARES, J.F. (2016). **Estudo da composição granulométrica de agregados reciclados para uso em concreto.** Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111 p.

VARELA, E.; TORRES, L. **Manual de Aplicação do Agregado Reciclado.** Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - Abrecon ISBN [São Paulo], 142p. v.1, 2019