



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ABDIAS VALENTE CELEDONIO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO ORIGINADO DA
RECICLAGEM DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
(RCD)**

MOSSORÓ – RN

2017

ABDIAS VALENTE CELEDONIO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO ORIGINADO DA
RECICLAGEM DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
(RCD)**

Trabalho Final de Graduação ao Conselho
do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Graduado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Marília
Pereira de Oliveira

MOSSORÓ – RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ca Celedonio, Abdias Valente.

Análise comparativa de concretos com substituição do agregado graúdo natural pelo originado da reciclagem do resíduo de construção e demolição (rcd) / Abdias Valente Celedonio. - 2017.

71 f. : il.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira .
Monografia (graduação) - Universidade Federal

1. Concreto . 2. Resíduos de Construção e Demolição (RCD). 3. Agregado Graúdo. I. Oliveira , Marília Pereira de , orient. II. Título.

ABDIAS VALENTE CELEDONIO

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO ORIGINADO DA RECICLAGEM
DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Monografia apresentada ao Conselho
do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 19 / 10 / 17.

BANCA EXAMINADORA

Marília Pereira de Oliveira
Prof.^a Dr.^a Marília Pereira de Oliveira - UFERSA
Presidente

Francisco
Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Junior – UFERSA
Membro Examinador

Palloma Borges de Moraes
Prof.^a Palloma Borges de Moraes – UFERSA
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Jesus Cristo e a Nossa Senhora, por me guardarem e protegerem e me darem as oportunidades de vencer.

Aos meus pais, Jesus Celedonio e Maria Vilian, aos meus irmãos Vivianne Valente e Tadeu Celedonio, aos meus cunhados João Batista e Emília Oliveira, a minha Tia Lucia Celedonio, por todo o apoio e carinho. E a minha prima Wilma Freitas, pela parceria desde o primeiro dia desta caminhada.

A instituição UFERSA, campus Mossoró, e a todos os servidores que passaram pela minha formação, em especial a melhor técnica Rudna Angélica, por toda sua disponibilidade e amizade. A minha Orientadora Marília Pereira, por sua paciência e ensinamentos e aos membros da banca examinadora Palloma Borges e Francisco Alves da Silva Junior, pela disponibilidade de aceitar este convite.

Ao IFRN, campus Mossoró, por ter cedido seus equipamentos e instalações, em especial ao técnico Valteson da Silva, por sua paciência e amizade.

À empresa Duarte Usina de RCC, por mais uma vez disponibilizar o material objeto de estudo deste trabalho e por sempre nos receber de portas abertas em suas instalações.

Aos muitos amigos que tive a oportunidade de criar nesses anos, em especial a Manoela Rebouças, Lorena Sombra, Mateus Noronha e Natanael Ferreira cujo convívio diário ajudou a deixar mais leve e agradável esta caminhada e já deixa saudade.

À todos que direta ou indiretamente ajudaram na realização deste estudo. Meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma de atividades.	27
Figura 02 - Cimento CP II Z – 32 – RS.....	28
Figura 03 – Execução do ensaio de massa específica do cimento	29
Figura 04 – Frasco de Chapman.....	30
Figura 05 – Agregado graúdo de RCD utilizado.....	32
Figura 06 – Triagem Manual do entulho coletado.	32
Figura 07 – Britagem (a) e estocagem (b).....	33
Figura 08 – Retifica de corpos de prova cilindros (a) e prensa servo-hidráulica (b)..	39
Figura 09 – Corpo de prova na balança hidrostática.....	40
Figura 10 – Posicionamento do corpo de prova no aparelho de ultrassom.....	41
Figura 11 – Corpos de prova preparados para serem pesados na balança hidrostática.	42
Figura 12 – Curva granulométrica da areia	44
Figura 13 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Seco.....	50
Figura 14 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Lavado.	52
Figura 15 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Seco e Lavado.	52
Figura 16 – Representação gráfica dos valores de Absorção (%) – CP com RCD Seco	54
Figura 17 – Representação gráfica dos valores de Porosidade (%) – CP com RCD Seco	55
Figura 18 – Representação gráfica dos valores de absorção (%) – CP com RCD Seco	56
Figura 19 – Representação gráfica dos valores de absorção (%) – CP com RCD Seco	57
Figura 20 – Comparativo entre todos os valores de absorção.	58
Figura 21 – Comparativo entre todos os valores de porosidade.	58
Figura 22 – Média das velocidades dos Pulsos Ultrassônicos	61
Figura 23 – Média das velocidades dos módulos de elasticidade dinâmico.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tipos de cimento	18
Tabela 02 – Traço adotado.	35
Tabela 03 – Referencial – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.	36
Tabela 04 – Substituição de 25% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.....	36
Tabela 05 – Substituição de 50% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.....	37
Tabela 06 – Substituição de 75% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.....	37
Tabela 07 – Nomenclatura adotado para os corpos de prova.....	39
Tabela 08 – Análise granulométrica da areia	43
Tabela 09 – Massa unitária da areia	44
Tabela 10 – Massa específica do areia	45
Tabela 11 – Análise granulométrica do AGN.	45
Tabela 12 – Massa específica do AGN	46
Tabela 13 – Massa unitária do AGN	46
Tabela 14 – Granulometria do RCD	47
Tabela 15 – Massa específica do RCD	48
Tabela 16 – Massa unitária do RCD	48
Tabela 17 – Taxa de absorção dos agregados graúdos	49
Tabela 18 – Resistência a Compressão – Concreto de referência	50
Tabela 19 – Resistência à Compressão – RCD Seco	50
Tabela 20 – Resistência a Compressão – RCD Lavado	51
Tabela 21 – Valores de Absorção (%) e Porosidade (%) – CP de referência.	53
Tabela 22 – Valores de Absorção (%) – CP com RCD Seco	53
Tabela 23 – Valores de Porosidade (%) – CP com RCD Seco	54
Tabela 24 – Valores de Absorção (%) – CP com RCD Lavado.....	55
Tabela 25 – Valores de Porosidade (%) – CP com RCD Lavado.....	56
Tabela 26 – Classificação da qualidade do concreto	59
Tabela 27 – Velocidade do pulso ultrassônico	60
Tabela 28 – Velocidade Pulso Ultrassônico - RCD Seco	60

Tabela 29 – Velocidade Pulso Ultrassônico - RCD Lavado	60
Tabela 30 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP Referencial.....	62
Tabela 31 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP com RCD Seco	62
Tabela 32 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP com RCD Lavado	62

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO ORIGINADO DA RECICLAGEM DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Abdias Valente Celedonio

Orientador: Prof^a. Dr^a. Marília Pereira de Oliveira

RESUMO

Em todos seus setores, a construção civil consome muitos dos recursos naturais disponíveis e produz uma grande quantidade de resíduos que por sua vez são, em muitos casos, depositados de maneira irregular aumentando ainda mais o impacto causado por esta indústria. Tendo isso em mente e atento a necessidade atual de se preservar o meio ambiente, o presente estudo procura, de forma experimental, analisar os efeitos que a utilização destes resíduos podem trazer ao concreto. Foram produzidos corpos de prova cilíndricos de 10x20cm de concretos com substituição parcial do agregado graúdo natural (brita granítica) pelo produzido da reciclagem do resíduo de construção e demolição (RCD), no estado seco e lavado, sendo tais substituições de 25, 50, 75% em massa. Estes foram submetidos aos ensaios de compressão axial, ultrassom e porosidade por imersão. Apresentando, quanto a qualidade do concreto, a classificação de ótimo e uma provável viabilidade, no que diz respeito a resistência a compressão para utilização da substituição de 50%.

Palavras-chave: Concreto. Resíduo de construção e demolição (RCD). Agregado graúdo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 CONCRETO	14
3.1.1 Conceito	14
3.1.2 Propriedades	14
3.1.3 Composição	17
3.2 CONCRETO SUSTENTÁVEL	20
3.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	20
3.3.1 Definição e Classificação	21
3.4 AGREGADO GRAÚDO DE RCD	22
3.4.1 Definição	23
3.4.1 Características gerais de concretos produzidos com RCD	23
3.4.2 Viabilidade do uso em concreto	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	28
4.1.1 Cimento	28
4.1.2 Agregados	29
4.1.3 Agregado graúdo de RCD	31
4.1.4 Água de amassamento e Aditivo	34
4.2 DEFINIÇÃO E ESCOLHA DO TRAÇO	35
4.2.1 Quantitativo dos materiais	36
4.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	37
4.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	39
4.5 ENSAIO DE ULTRASSOM	40
4.6 ENSAIO DE POROSIDADE E ABSORÇÃO	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43

5.1.1 Agregado miúdo	43
5.1.2 Agregado graúdo.....	45
5.2 RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL.....	49
5.3 ABSORÇÃO E POROSIDADE	53
5.4 ENSAIO DE ULTRASSOM	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A sociedade de consumo, na qual estamos inseridos além de exigir muito dos recursos naturais presentes no planeta o sobrecarrega com uma enorme quantidades de resíduos gerados diariamente em todas suas atividades. Estes como afirma Valle (et al., 2013) resultam no surgimento de novas tendência em diversos âmbitos como o social e o econômico, pois representam um grande risco a saúde pública tendo em vista a grande devastação e degradação ambiental que causam.

Dentre estes figura-se os da construção civil, que está presente desde os primórdios da sociedade humana é encarregada das mais diversas obras, sendo ainda responsável por utilizar uma grande quantidade dos recursos naturais disponíveis e gerando resíduos tanto na etapas de construção como afirma Surya (et al., 2013) quanto de acordo com Bajad (et al., 2015) nos processos de demolição, processo que está em ascensão neste setor, em áreas urbanas.

Conforme Brasil (2015), de acordo com CIC (Conselho Internacional de Construção), a indústria da construção é o setor que mais se utiliza os recursos naturais e energia gerando significativos impactos ambientais. Ainda de acordo com Brasil (2015), estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados é originado deste setor.

Tendo isso em vista, os processos construtivos tem evoluído constantemente na busca pela utilização mais racional dos recursos disponíveis, e assim como eles torna-se necessário realizar o desenvolvimento do gerenciamento dos resíduos gerados pela atividade para que não sejam dispostos de maneira irregular, sendo tal preocupação bastante presente nos países desenvolvidos, como afirma Behera (et al., 2014), e ainda se possível que possam ser reutilizados de alguma forma nas diversas áreas abrangidas pela construção civil e até por outro setores.

Para tanto, uma das formas mais comumente citadas de acordo com Silva R.(et al., 2014) como a melhor maneira de se realizar o gerenciamento deste resíduo seria a sua reciclagem. Após reciclado, o material poderá ser substituído, por exemplo como agregado no concreto que segundo Bajad (et al., 2015) é o material principal do setor da construção civil, dando destino a este material e ainda gerando uma economia de

energia, pois conforme Limbachiya (et al., 2011) a extração dos agregados virgens além de gerar graves danos ambientais ainda requer grandes quantidades de energia para os processos de extração e esmagamento.

A falta de conhecimento especializado e de confiança, acaba por restringir o potencial total da utilização dos agregados originados da reciclagem dos RCD. (LIMBACHIYA et al., 2011) Dessa forma, o presente estudo visa realizar uma análise do comportamento mecânico do concreto em que houve a substituição gradual do agregado graúdo comum pelo originado da reciclagem de RCD (Resíduo de Construção e Demolição), fazendo para tanto o uso dos ensaios de compressão axial, de ultrassom e de absorção visando conhecer e entender as propriedades do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho possui como objetivo geral analisar o comportamento mecânico do concreto no qual foi feita a substituição parcial do agregado graúdo convencional pelo oriundo da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD).

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar a caracterização do material estudado para a confecção do traço do concreto;
- Realizar a moldagem dos corpos de prova, para cada percentual de substituição do agregado natural por RCD e lavado, em massa, nos percentuais de 25, 50 e 75%;
- Analisar o comportamento do concreto produzido, quanto à resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739 (2007);
- Analisar o comportamento do concreto produzido, quanto à absorção, de acordo com a NBR 9778 (1987);
- Analisar o comportamento do concreto produzido, quanto ao ensaio de ultrassom, de acordo com a norma NBR 8802 (1994).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONCRETO

3.1.1 Conceito

Utilizado amplamente nas mais diversas atividades da construção civil, o concreto vem sendo estudado conforme Bauer (2013) desde o final do século 19 e caracteriza-se segundo Adão e Hermerley (2010) por ser uma mistura simples e homogênea de aglomerante, agregados e água.

Conforme Tutikian e Helene (2011), pode-se considerar como materiais passíveis de uso no concreto, os vários cimentos, os agregados miúdos e graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos, as adições, os pigmentos e as fibras.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), ele é obtido por meio da correta mistura de cimento, dos agregados graúdos e miúdos e água, sendo ainda, em algumas situações, adicionados produtos químicos ou outros componentes, sendo necessárias a correta hidratação do cimento para que a pasta resultante possa envolver satisfatoriamente os sólidos presentes.

3.1.2 Propriedades

3.1.2.1 Estado Fresco

Após produzido, seu estado fresco possui como principais propriedades a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade. A consistência figura-se como a primeira propriedade a ser observada, correspondendo a maior ou menor capacidade que ele tem de se deformar, estando ligado ao processo de adensamento, transporte e lançamento do concreto. Uma forma de se medir tal propriedade é a partir do ensaio

de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67/1998). (CARVALHO e FILHO, 2014).

No que diz respeito a trabalhabilidade, conforme Carvalho e Filho (2014) um concreto com slump alto, ou seja, a medida da deformação vertical alta, geralmente, tem dita como boa essa propriedade, que está ligada à maneira de se realizar seu adensamento, tendo seus condicionantes segundo Tutikian e Helene (2011), definidos pelos projetos arquitetônicos e estruturais, tendo que tal concreto ser viscoso e coeso, permitindo que seja transportado até sua última destinação sem apresentar segregação, bicheiras, ninhos, exsudação, variações de cor e escorrimentos exagerados. Ambas as propriedades anteriores dependem, de acordo com Carvalho e Filho (2014), bastante da granulometria do materiais sólidos, da incorporação de aditivos e do fator água/cimento.

Por fim, temos a homogeneidade, característica ligada a distribuição do agregados graúdos dentro da massa, quando mais uniformes e melhor envolvidos pela pasta, sem apresentar desagregação, melhor será a qualidade do concreto produzido. (CARVALHO e FILHO, 2014)

Passadas poucas horas após sua produção, já se tem início o endurecimento do concreto, sendo de acordo com Carvalho e Filho (2014) chamado de pega o período entre o início do endurecimento até o momento em que possa ser desenformado. Dado início tal processo a hidratação do concreto se dá de maneira muito veloz, havendo a tendência da água presente na mistura de sair pelos poros e evaporar, podendo causar fissuras que prejudicariam a resistência almejada. Para que isso não ocorra, torna-se necessário a tomada de medidas de modo a manter a umidade básica para as reações de hidratação, sendo o método conhecido por cura. (CARVALHO e FILHO, 2014)

3.1.2.2 Estado Endurecido

Para o concreto já endurecido, a resistência torna-se a propriedade mais valorizada, sendo ela definida pela capacidade de um material de resistir à tensão sem que ocorra o rompimento do mesmo. (METHA e MONTEIRO, 2008). Conforme, Tutikian e Helene (2011), a resistência à compressão é utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle de qualidade dos concretos, devido entre outros fatores a sua relativa simplicidade nos procedimentos de ensaio e ao fato dela ser sensível às alterações de composição da mistura.

De acordo com Metha e Monteiro (2008, p. 49), “a porosidade entre a matriz e agregado gráudo normalmente determinam a resistência característica do concreto de densidade normal”. Ainda de acordo com Metha e Monteiro (2008), a compressão uniaxial é bastante aceita como forma de representar a resistência do concreto, e são discutidas relações entre ela e outras formas de resistência como a tração, a flexão, ao cisalhamento e a biaxial.

Além das propriedades supracitadas, Tutikian e Helene (2011) cita ainda a durabilidade e deformabilidade. No que diz respeito a durabilidade, ele afirma que os concreto devem ser duráveis ao que será solicitado durante sua vida útil, sendo ela dependente de fatores extrínsecos, como o intemperismo e intrínsecos como o tipo de cimento e a relação a/c. Ainda segundo Tutikian e Helene (2011) a durabilidade estaria associada aos mecanismos de penetração de agentes agressivos em materiais porosos, como a capilaridade, a difusividade, migração iônica e permeabilidade.

No que diz respeito a deformabilidade, os projetistas estruturais mais esclarecidos, vem dando mais notoriedade a propriedades como o modulo de elasticidade, a retração hidráulica, a deformação inicial ou imediata e deformação lenta. Tendo estas deformações doo concreto, grande interferência para os outros elementos construtivos. (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

3.1.3 Composição

3.1.3.1 Aglomerante

3.1.3.1.1 Definição

No mercado, há a existência dos aglomerantes aéreos, que endurecem pela ação química do dióxido de carbono, os poliméricos que agem devido à polimerização de uma matriz e o mais utilizado o do tipo hidráulico que endurecem pela ação da água. (CUNHA, 2015)

No concreto, é utilizado um aglomerante do tipo hidráulico conhecido como Cimento Portland, este pode ser definido como uma mistura do clínquer, que é o cozimento de materiais calcários e argilosos, em proporções adequadas e à temperatura suficiente para as transformações químicas que o originam, com gipsita. (BAUER, 2013).

Segundo a ABCP (2002), o cimento Portland é um material fino com propriedades aglomerantes que endurece em reação com a água, composto de clínquer e adições, sendo tais adições determinantes na diferenciação dos tipos de cimento. Corroborando com essa ideia, Metha e Monteiro (2008) afirma que o material pode ser definido como um aglomerante hidráulico resultado da adequada mistura do clínquer Portland, que para a NBR 5732 (1991) compõe-se em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas, com gesso e adições.

3.1.3.1.2 Classificação

De acordo com a NBR 5732 (1991), durante a moagem do clínquer pode-se adicionar materiais pozolânicos, escórias granulares de alto-forno e/ou materiais carbonáticos. Tais adições conforme Metha e Monteiro (2008), adicionadas durante sua produção faz com que o produto se transforme em um dos tipos mais comumente encontrados no mercado brasileiro.

Estes tipos são especificados na tabela a seguir:

Tabela 01 – Tipos de cimento

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória granulada de alto forno	Material Pozolânico	Material Carbonático	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I-S	99-95		1 ---- 5	-	
Composto	CP II-E	94-56	6 -- 14	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94 - 76	-	6 ---14	0-10	
	CP II-F		-	-	6---10	
Alto-Forno	CP III	65 - 25	35 - 70	-	0---5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85 - 45	-	15 - 50	0---5	NBR 5736
Alta Resistência inicial	CP V – ARI	95 - 100	-	-	0--5	NBR 5733

Fonte: ABCP, 2002

3.1.3.2 Agregados

Os agregados, conforme Bauer (2013, p. 63), são um “material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula”. De acordo com Limbachiya (et al., 2011), eles são o principal componente em termos de volume do concreto, podendo ainda ter um grande efeito nas propriedades e no custo final do mesmo.

Eles podem ser classificados quanto à sua origem, em naturais ou industrializados, segundo seu peso específico em leve, médios e pesados e com relação às dimensões de suas partículas, podendo ser miúdos ou graúdos. (BAUER, 2013)

No que diz respeito a suas dimensões, de acordo com a NBR 7211 (2009), levando em consideração as peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (1997), os agregados miúdos são aqueles que passam pela peneira com abertura de malha 4,75mm, enquanto os agregados graúdos ficam retidos nesta e passam por uma com abertura de 75mm.

A resistência do agregado geralmente é menosprezado pois geralmente a maioria do agregado naturais é mais resistente que as outras duas fases, sendo portanto a ruptura determinada por elas. No entanto há comprovações suficientes que independente da relação água/cimento, que características como dimensão, forma, textura superficial e mineralogia do agregado afetarão a resistência do concreto (METHA e MONTEIRO, 2008). Tal ideia é corroborada por Limbachiya (et al., 2011) quando afirma que os agregados desempenham um papel importante na determinação da viabilidade, força, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto.

3.1.3.3 Água de amassamento

No que diz respeito à água, deve ser a mais livre possível de impurezas, pois de acordo com Metha e Monteiro (2008), caso tais impurezas estejam em quantidade excessiva poderão afetar a resistência, o tempo de pega, originar eflorescência e causar a corrosão da armadura e do aço protendido.

Para tanto é indicado a utilização, de acordo com a NBR 15900-1 (2009), da água de abastecimento público, pois ela é considerada adequada para o uso não precisando ser ensaiada.

3.1.3.4 Aditivos e adições

Com relação aos aditivos, de acordo com Bauer (2013) são um item que não precisam estar obrigatoriamente na mistura do concreto, no entanto caso sejam utilizados eles podem intensificar ou atenuar determinadas características do produto. Sendo segundo Adão e Hemerley (2010), produzidos industrialmente, diluídos na água de amassamento e colocados conforme a NBR 12655 (2006) em pequenas quantidades, geralmente menores que 5% da massa do cimento.

Para a NBR EB-1763 (1992), aditivos são produtos que adicionados em pequenas quantidades ao concreto, visando deixá-los mais adequados, modificando

para isso algumas de suas propriedades. Ainda de acordo com ela, eles se classificam como aditivo plastificante, retardador, ativador, plastificante retardador, plastificante acelerador, incorporador de ar, superplastificante, superplastificante retardador e superplastificante acelerador.

No que diz respeito as adições, de acordo com ASTM C125 (2001), são qualquer material, tirando água, os agregados, o cimento ou fibras, adicionados a massa do concreto antes ou durante a mistura, sendo classificados conforme Fonseca (2010) de acordo com sua ação físico-química no concreto em três grupos: materiais pozolânicos, material cimentante e filler.

3.2 CONCRETO SUSTENTÁVEL

As análises referentes a concretos sustentáveis, incluem todos aqueles que consigam reduzir a emissão de gases prejudiciais na atmosfera durante a fabricação do cimento, por exemplo, assim como consumir rejeitos industriais e até entulhos originados nos processos construtivos como um todo. (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Para tanto, a política mais propícia para a produção do concreto sustentável seria a de adicionar a quantidade máxima possível de materiais reciclados, visando a diminuição da liberação de CO₂ e da energia gasta na produção do cimento, por exemplo. (LIMBACHIYA et al., 2011)

É nesse contexto que se tem a utilização dos agregados originados da reciclagem dos resíduos de construção e demolição como uma alternativa viável para reduzir o impacto que estes resíduos causaria ao meio ambiente. (SILVA, et al., 2017).

3.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Atualmente o desenvolvimento sustentável, que visa suprir as necessidades atuais sem limitar as possibilidades de prover as necessidades futuras, é uma das principais preocupações da civilização. Para tanto se faz necessário a redução do consumo de matérias primas naturais, redução da emissão de gases que agravem o

efeito estufa, assim como um melhor disposição e portanto gerenciamento dos resíduos gerados em toda as atividades.

O setor da construção civil, por exemplo, de acordo com Kubissa (et al., 2015 apud CZARNECKI, 2007, GLINICKI, 2007 e CZARNECKI, 2010) usa por ano 20 bilhões de toneladas de agregados, 1,5 bilhão de toneladas de cimento e 800 milhões de toneladas de água, sendo ainda responsável por produzir de 5 a 7% da emissão mundial anual de CO₂.

Além do notório gasto de recursos naturais virgens, este setor da indústria, gera resíduos tanto nas etapas construtivas quanto nos processos de demolição que de acordo com Bajad (et al., 2015) é um processo que está em ascensão, em áreas urbanas, devido a necessidade de modernizar construção antigas tanto por estarem obsoletas, quanto por se almejar construções mais novas e altas, por exemplo. Esse processo, ainda de acordo com ele, gera uma grande quantidade de concreto demolido, que é muitas vezes completamente desperdiçado, pois como vemos em Silva (et al., 2014) a maioria do países os quais não possuem uma política de tratamento específica para esses resíduos acabam por deposita-los ao invés de recicla-los e reutiliza-los.

Segundo Abrelp (2015), só em 2015 foram coletados 45 milhões de toneladas de RCD, sendo esse quantitativo 1,2% maior que o de 2014, no entanto o valor ainda não considera o montante lançado fora dos logradouros públicos, corroborando com isso, Gonçalves (2011, p. 18, apud OIKONOMOU, 2005) afirma que a construção civil utiliza “40% do total de energia e 50% do total de resíduos sólidos produzidos no mundo”.

3.3.1 Definição e Classificação

De acordo com a Resolução nº 307/02, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 5 de julho de 2002, define os resíduos de construção e demolição como:

São os provenientes de construção, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeira e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obra, calça ou metralha.

Quanto a classificação, a mesma resolução, do referido órgão os classifica em 4 classes: A, B, C e D.

Classe A: São os resíduos que podem ser reciclados e reutilizáveis como agregado, tais como de construção e demolição de obras de infraestrutura e de residências, assim como do processo de fabricação e destruição de peças de concreto.

Classe B: São os resíduos recicláveis para outros fins, como papel, plásticos, metais e o gesso, por exemplo.

Classe C: São os resíduos para os quais não há tecnologia para sua reciclagem, ou não é financeiramente rentável fazê-la.

Classe D: São resíduos perigosos advindos das atividades construtivas, ou contaminados e/ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, por exemplo de clínicas de radiografia.

3.4 AGREGADO GRAÚDO DE RCD

Os agregados originados da reciclagem dos resíduos de construção e demolição vem ganhando cada vez mais popularidade desde a década de 1980, conforme Dodds (et al., 2017).

3.4.1 Definição

Conforme a NBR 15116 (2004, p.2) os agregados reciclados podem ser definidos como:

Material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação de obras de edificações e infraestrutura.

Ainda de acordo com a norma supracitada, os resíduos sólidos da construção civil, classificados na classe A conforme a resolução 307/02 do CONAMA, se classificam em agregado de resíduo de concreto (ARC) que é composto em sua fração grádua de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas e agregados de resíduos misto (ARM) que seriam os agregados que em sua fração grádua tivessem menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimentos Portland e rochas.

A reciclagem, a partir do esmagamento do RCD e a geração de partículas com granulometria compatível a dos agregados naturais, para reutilização deste material na produção de concreto é reconhecido como a solução mais viável e sustentável para o uso do RCD. (SURYA et al., 2013). Reciclar o concreto demolido em agregado de acordo com Bajad (et al., 2015) é um processo relativamente simples, que visa quebrar, remover e esmagar em um material de tamanho e qualidade especificados.

3.4.1 Características gerais de concretos produzidos com RCD

O concreto produzido com tais agregados reciclados dependem estreitamente da qualidade dos materiais que foram reciclados. (SURYA et al., 2013). Isso gera uma grande variabilidade nas características do material produzido, o que para Bravo (et al., 2015) é um comportamento esperado tendo em vista que a composição do RCD é influenciada pelo local do qual foi coletado.

Dentre as características conhecidas deste material é relevante mencionar a sua porosidade, conforme Tenório (2007), quando maiores forem as quantidades de fases porosas, maior será a absorção de água. Fato este corroborado por Limbachiya (et al., 2011); Gonçalves (2011) e Bravo (et al., 2015) que afirmam que a presença de argamassa ligadas, assim como resíduos cerâmicos aumentam a porosidade do material e por conseguinte a sua capacidade de absorção de água.

Tal absorção, que de acordo com Limbachiya (et al., 2011) é maior do que a dos agregados naturais, pode trazer dificuldades na trabalhabilidade do concreto produzido, por exemplo.

Por fim, esta característica também estaria ligada a massa específica deste material, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a porosidade menor a massa específica, como visto em Tenório (2007); Limbachiya (et al., 2011) e Gonçalves (2011).

3.4.2 Viabilidade do uso em concreto

Tenorio (2007), observou que os concretos produzidos com a substituição de agregado originados de RCD possuíam pequenos abatimentos, mas permaneciam trabalháveis. Tal característica podendo estar ligada a absorção de parte da água pelo agregado, denotando que não foi suficiente a pré-molhagem realizada. Por fim, ele afirma ainda que na maioria dos traços ensaiados, houve uma redução da resistência a compressão, fato este que também pode estar relacionado a maior porosidade do agregado de RCD, porém tal propriedade também poderia ter proporcionado uma maior aderência com a pasta.

Yong (et al., 2009) elucida, que os concretos com substituição de RCD obtiveram melhores resultados para tração e compressão e piores para flexão aos 28 dias em comparação com o concreto de referência produzido com agregado graúdo natural (AGN). Ainda segundo ele, a substituição de 100% gera uma trabalhabilidade insatisfatória, denotada pelo slump de 0mm, sendo recomendado a saturação da superfície do agregado.

Barbosa (et al., 2012) afirma que houve um aumento de cerca de 5 MPa para compressão axial e 0,7MPa para tração por compressão diametral, entre o concreto de referencial e o com substituição de RCD. Por fim, ele ainda constata que devido a porosidade e heterogeneidade do agregado graúdo de RCD, houve um aumento na velocidade de propagação da onda ultrassônica.

Segundo Surya (et al., 2013), os concretos com substituição de 50, 75 e 100% de RCD apresentaram características semelhantes aos concretos de referência para compressão, tração e flexão. Já o módulo de elasticidade diminuiu com o aumento das porcentagens, enquanto a absorção de água aumenta.

De acordo com Celedonio (2015), houve um aumento gradativo de resistência a tração do concreto com o aumento da porcentagem de substituição até 50% gerando valores que diferiram cerca de 1% se comparados aos de referência.

Araujo (2015) comenta que as propriedades dos concretos com RCD, são bem sensíveis as variações da porosidade dos agregados, sendo que os valores destas ficaram bem próximos e, em alguns casos, ultrapassaram as do concreto convencional. Ele afirma ainda que, houve um aumento de 121,72% na absorção do concreto com substituição de agregado comum pelo RCD, em comparação ao de referência.

Para Kubissa (et al., 2015), o RCD pode ser utilizado como substituição no concreto para melhorar algumas de suas propriedades. De acordo com ele, uma substituição de até 50% de AGN por RCD pode ser feita sem nenhum meio tecnológico adicional ou mudança da composição da mistura do concreto, no entanto mudanças de consistência são esperadas.

No que diz respeito a absorção de água, Kubissa (et al., 2015) afirma que há uma alta relação entre tal propriedade do agregado utilizado e do concreto produzido. Para os concretos feitos com substituição de RCD houve um aumento da absorção de água, no entanto caso seja utilizado um RCD de boa qualidade é possível garantir a resistência à água requerida.

Conforme Bajad (et al., 2015), o concreto com substituição de RCD perde trabalhabilidade, o que pode ser explicado pela maior taxa de absorção deste em

relação ao AGN. Ainda segundo ele, uma substituição de até 30% de RCD gera resultados bem próximos aos do concreto de referência.

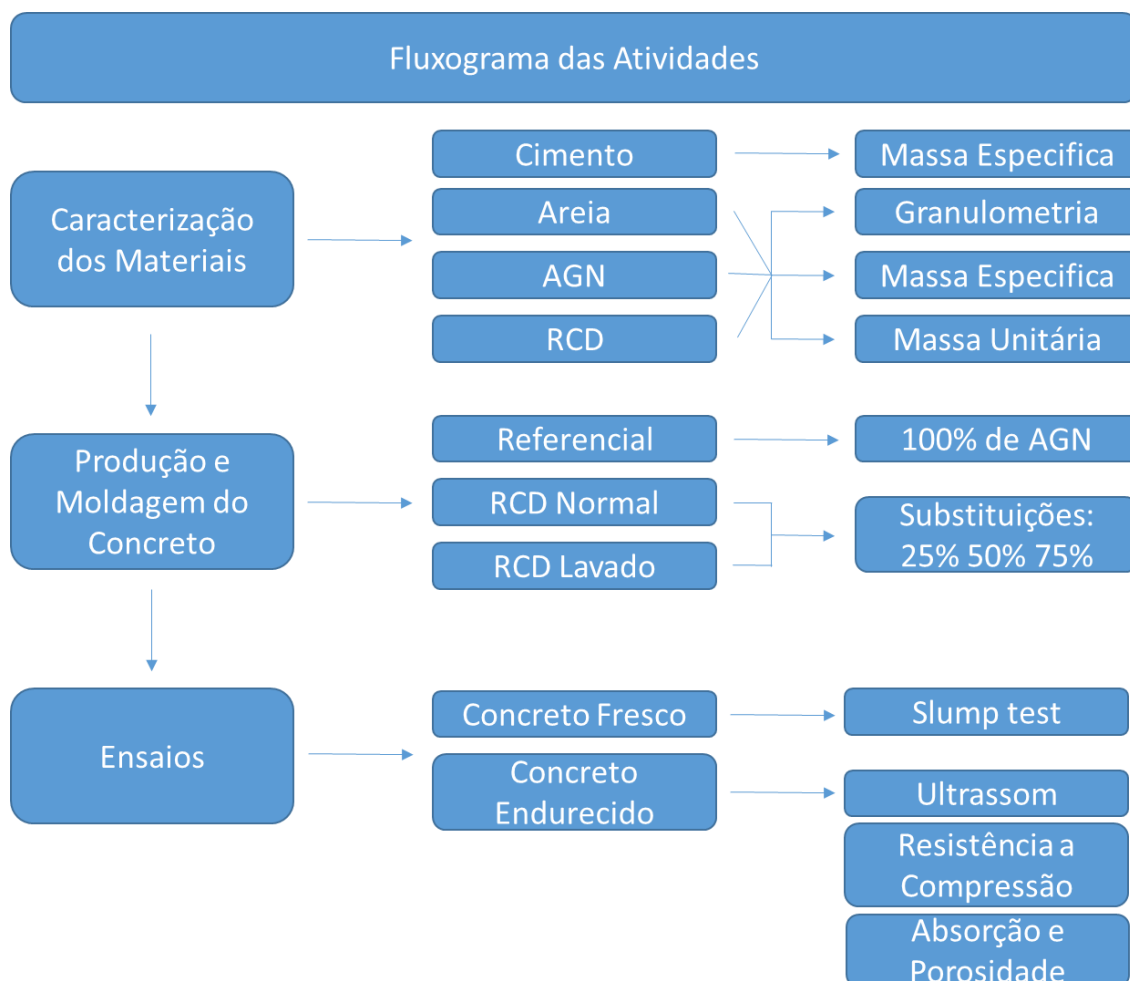
Zega (et al., 2017), afirma que os concretos com substituição de RCD podem ser tão bons quanto os produzidos apenas com AGN, sendo a substituição de 25% de RCD gerado um material tão bom quando o de referência no quesito resistência a compressão. Além disso um valor de 75% de substituição obtém concretos com durabilidade adequadas, sendo as características relacionadas a durabilidades melhoradas conforme se aumenta a resistência a compressão.

Dodds (et al., 2017), alcançou a resistência a compressão esperada aos 28 dias para até 100% de substituição de 2 dos 3 tipos de RCD testados, tendo o outro atingindo só até 60% de substituição. Ele recomenda ainda a utilização de uma substituição de 30% de agregado graúdo comum pelo RCD e de 50% de cimento pela escoria de alto forno para concretos estruturais sustentáveis, podendo aumentar para 60% a substituição de RCD para idades mais avançadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada foi do tipo experimental, foram produzidos 6 (seis) corpos de prova, com as dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, de concreto com resistência característica de 25 MPa, para cada porcentagem de substituição, 25, 50 e 75%, em massa, de AGN (Agregado graúdo natural) tanto para o estado natural por RCD cedo quanto passado por lavagem em água e 6 (seis), possuindo as mesmas especificações, porém com 100% de agregado graúdo natural, que servirão como referência.

Figura 01 – Fluxograma de atividades.



Fonte: Autor (2017).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Cimento

Neste estudo foi utilizado o cimento CP II Z – 32 – RS (Figura 02), da marca Mizu, que ficou armazenado no Laboratório de ensaios de matérias da UFERSA, campus Mossoró.

Figura 02 - Cimento CP II Z – 32 – RS



Fonte: Autor (2017).

Foi realizado o ensaio visando encontrar a massa específica do mesmo, normatizado pela NBR 6474 NM 23 (2001). Neste foi utilizado o Frasco de Le Chatelier, preenchido com querosene (Figura 03) e utilizando duas amostras do cimento estudado de 50g cada. Em cada ensaio, a amostra foi colocada de maneira cuidadosa dentro do frasco que foi submetido a suaves vibrações visando a saída de toda as bolhas de ar que poderiam estar lá dentro, após isso foi anotada a mudança de volume do querosene previamente colocado equipamento.

Figura 03 – Execução do ensaio de massa específica do cimento.



Fonte: Autor (2017)

4.1.2 Agregados

O agregado miúdo natural utilizado foi a areia, enquanto o agregado graúdo natural (AGN) foi a brita granítica do tipo 1, ambos comprados na cidade de Mossoró-RN.

4.1.2.1 Granulometria

O ensaio granulométrico utilizado para a areia foi o procedimento normatizado pela NBR NM 248 (2003) no qual foram separados duas amostras de 500g do material a ser analisado. Depois, tais amostras foram submetidas a secagem em estufa, em seguida foram colocada no conjunto de peneiras da série normal definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (1997) e submetidas a vibração mecânica. Por fim coletou-se o material retido, em cada peneira e do fundo, e foi pesado numa balança de precisão.

Para a granulometria do AGN e RCD foi utilizado o processo protocolado pela ABNT NBR 7211 (2009). Foram separadas duas amostras de 5kg que foram postas de maneira gradual no jogo de peneiras anteriormente citada, após coletou-se a massa do que ficou retido em cada peneira e do fundo e realizou-se a pesagem.

4.1.2.2 Massa específica

A determinação da massa específica da areia ocorreu conforme as diretrizes da ABNT NBR NM 52 (2009). Foram ensaiadas duas amostras de 500g que foram postas de maneira gradual no frasco de Chapman (Figura 04), este foi sutilmente vibrado para acomodação total do material inserido e saída das bolhas de ar. Depois foi observado e anotado a mudança de volume da água anteriormente colocada no frasco e calculado o índice desejado.

Figura 04 – Frasco de Chapman



Fonte: Autor (2017).

Já para os AGN e RCD, foi seguido os procedimentos ditados pela norma ABNT NBR 53 (2009). Inicialmente foram separadas duas amostras de 3kg, estas foram

imersas completamente em água por 24 horas, depois foram colocados em um pano absorvente até que todo o líquido de sua superfície tivesse sido seco, vencida esta etapa, as amostras foram pesadas novamente em uma balança de precisão e depois em uma balança hidrostática visando conhecer seu peso sem os vazios. Por fim, o material foi posto por 24 horas na estufa e depois de esfriar naturalmente foi pesado novamente em balança de precisão.

4.1.2.3 Massa unitária

Para ambos os agregados foi realizado o procedimento seguindo a NBR NM 45 (2006). Inicialmente foram separadas duas amostras de material com maior volume do que o volume do recipiente que seria utilizado na realização do ensaio, que também teve sua massa conhecida. Depois, o material foi depositado de maneira cuidadosa, visando evitar o adensamento do mesmo, para tanto foi jogado a uma altura de 10 a 15 cm, até estar totalmente preenchido. Por fim foi pesado o conjunto material mais recipiente.

4.1.3 Agregado graúdo de RCD

Neste estudo, o agregado graúdo originado da reciclagem de resíduos de construção e demolição (Figura 05), utilizado para realizar as substituições do AGN, foi gentilmente cedido pela empresa Duarte Usina de Reciclagem de RCC, localizada na cidade de Parnamirim – RN.

Figura 05 – Agregado graúdo de RCD utilizado.



Fonte: Autor (2017)

Nela, há o gerenciamento dos resíduos de Classe II conforme a NBR 10.004 (2004), notadamente os resíduos de construção e demolição das classificações de A a D conforme a resolução nº 307 (2002) do Conama.

Quando chega, o material coletado pelas caçambas de entulho da empresas é pesado e levado para o armazenamento, lá passa por uma triagem manual que visa separar apenas o que pode ser de fato reciclado (Figura 06), retirando, portanto, os materiais que não podem ser reciclados e reutilizados como RCD.

Figura 06 – Triagem Manual do entulho coletado.





Fonte: Autor, 2016

O material é levado em caçambas para o britador, onde é deixado na granulometria almejada para o produto e depois estocado. (Figura 07)

Figura 07 – Britagem (a) e estocagem (b)



(a)



(b)

Fonte: Autor (2016)

No que diz respeito a sua caracterização, todos os processos realizados para os AGN foram realizados para o RCD.

4.1.4 Água de amassamento e Aditivo

A água de amassamento utilizada foi a água potável disponível no próprio laboratório de ensaios de materiais da UFERSA, local onde foi realizada a moldagem dos corpos de prova ensaiados.

O aditivo usado foi o superplastificante de terceira geração MasterGlenium 25 da marca BASF, trata-se de um produto líquido, livre de cloretos e pronto para o uso, recomendado para todo tipo de concreto em que se deseje uma alta redução da quantidade de água de amassamento e um aumento do tempo de trabalhabilidade sem, no entanto, alterar o tempo de pega.

4.2 DEFINIÇÃO E ESCOLHA DO TRAÇO

Depois de executada toda a caracterização do material, foi realizado o cálculo do traço de concreto pelo método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), almejando um concreto com resistência de 25 Mpa aos 28 dias, o método resultou no seguinte traço

Tabela 02 – Traço adotado.

TRAÇO EM MASSA	CIMENTO	AREIA	BRITA	A/C
	1,00	1,82	2,98	0,580

Fonte: Autor (2017).

Este foi utilizado para a confecção dos concretos variando apenas o teor de substituição do AGN para o RCD, sendo as porcentagens, no presente trabalho de 25, 50 e 75%, em massa, para o RCD seco e lavado.

Tendo em vista o que diz a literatura e levando em conta a experiência no trato com esse material em outros trabalhos, foi decidido a utilização de um aditivo que reduzisse a quantidade de água de amassamento, pois para alcançar uma boa trabalhabilidade, devido à alta absorção do RCD se faz necessária a adoção de um alto valor da relação A/C, o que poderia vir a prejudicar a resistência portanto, para suprir isso foi feita a utilização do aditivo anteriormente citado.

A quantidade do mesmo foi ajustada empiricamente. De acordo com o fabricante, deve ser utilizado uma quantidade de até 1% do valor em massa do cimento. A partir disso, foi testado para a substituição de 75% de RCD seco a quantidade máxima indicada de aditivo, obtendo uma trabalhabilidade aceitável que permitia a moldagem do mesmo. O mesmo não ocorreu para os testes de 0,8 e 0,9% obtendo um resultado não satisfatório de trabalhabilidade.

Com isso, foi adotado o valor de 1% em massa de cimento para o traço com 75% de substituição de RCD. Para os traços com as outras duas substituições, foi feito uma interpolação chegando aos valores de 0,66% para a substituição de 50% e de 0,33% para a de 25%.

Para as substituições de 75% do RCD lavado, esperando uma menor absorção devido a previa lavagem realizada no material, foi iniciado o teste com a adição de 0,75% de aditivo, no entanto, não se alcançou uma trabalhabilidade que permitisse a moldagem, o mesmo ocorreu para os teste de 0,8 e 0,9% só alcançando um resultado satisfatório para a adição de 1%. Assim, ficaram as mesmas quantidades de aditivo utilizadas para as substituições de RCD seco.

4.2.1 Quantitativo dos materiais

A seguir seguem as quantidades de matérias utilizados para cada traço.

Tabela 03 – Referencial – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.

Referencial	kg
Cimento	5,552
Areia	10,119
Brita	16,562
Água	3,220

Fonte: Autor (2017)

Tabela 04 – Substituição de 25% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.

Substituição de 25% - RCD Normal e Lavado	Kg
Cimento	5,552
Areia	10,119
AGN	12,422
RCD	4,140
Água	3,220

Fonte: Autor (2017)

Tabela 05 – Substituição de 50% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.

Substituição de 50% - RCD Normal e Lavado	kg
Cimento	5,552
Areia	10,119
AGN	8,281
RCD	8,281
Água	3,220

Fonte: Autor (2017)

Tabela 06 – Substituição de 75% – Consumo de materiais para a produção de 10 corpos de prova.

Substituição de 75% - RCD Normal e Lavado	kg
Cimento	5,552
Areia	10,119
AGN	4,140
RCD	12,422
Água	3,220

Fonte: Autor (2017)

4.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Inicialmente foi realizada o peneiramento de todo o RCD e do AGN a ser utilizado em todos os traços, fazendo uso de uma peneira de malha 19mm. O mesmo processo foi repetido para o areia, no entanto fazendo uso de uma peneira com malha de 4,75mm. Além disso, devida demasiada umidade presente no areia, ele foi colocado por 24 horas na estufa.

Depois, foi realizada a lavagem da quantidade de RCD necessária para as substituições utilizadas na produção do concreto com tal agregado lavado. Para tanto o material foi posto em uma peneira de malha de 4,75mm e submergido em um balde com água, sendo vibrado lá dentro e sucessivamente retirado e recolado dentro da água. Após isso, deixou-se escorrer o excesso de água e posto para secar naturalmente.

Vencidas as etapas de peneiramento e lavagem dos materiais, foram pesados, as quantidades referentes a cada traço, e posteriormente misturados na betoneira de eixo inclinado, presente no laboratório de ensaios de materiais da UFERSA, com 120 litros de capacidade.

Primeiramente, a betoneira foi umedecida, para que não houvesse perda de água de amassamento, absorvida pelas paredes da mesma. Depois os materiais foram inseridos na seguinte ordem:

- 1º - Todo o AGN e/ou o RCD;
- 2º - Cerca de 1/3 da água, já contendo o aditivo;
- 3º - Todo o Cimento;
- 4º - Mais 1/3 da água com aditivo;
- 5º - Toda a areia;
- 6º - O restante da água com aditivo.

Após todos os materiais devidamente postos na betoneira, ela permaneceu ligada por 5 minutos visando haver a homogeneização da mistura.

Finalizada esta etapa, o concreto produzido foi retirado da betoneira e passado pelo ensaio da determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, o *Slump Test*, de acordo com a NBR NM 67 (1998).

Inicialmente foi umedecido o molde do tronco de cone assim como a placa de base, depois de posicionado o molde em cima da placa e de fixado pelo operador, foi iniciado o preenchimento em três camadas, cada uma com cerca de 1/3 do volume do tronco, de concreto adensadas por 25 golpes de haste metálica, por fim o tronco de cone foi rasado e retirado de maneira a não gerar torção lateral no concreto sendo possível medir seu abatimento.

Finalmente, ele foi adensado e moldado seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 5738 (2003), utilizando-se pra isso de moldes cilíndricos de 10x20cm. Depois das primeiras 24 horas os CP foram desmoldados e colocados totalmente imersos em água por 28 dias, tempo necessário a sua cura.

Tabela 07 – Nomenclatura adotado para os corpos de prova

CP com Substituição de RCD Seco			CP com Substituição de RCD Lavado		
25%	50%	75%	25%	50%	75%
S251	S501	S751	L251	L501	L751
S252	S502	S752	L252	L502	L752
S253	S503	S753	L253	L503	L753
S254	S504	S754	L254	L504	L754
S255	S505	S755	L255	L505	L755
S256	S506	S756	L256	L506	L756

Fonte: Autor (2017).

4.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Passados os 28 dias de cura, foi realizado o ensaio objetivando obter a resistência do concreto a compressão axial. Para tanto foi utilizado os procedimentos indicados pela NBR 5739 (2007).

Inicialmente, cada corpo de prova foi submetido a passagem pela retificadora de corpos de prova cilindros (Figura 08 - a), do modelo I-3064 da marca Contenco, presente no laboratório de construção civil do IFRN – Campus Mossoró, visando deixar suas superfícies perfeitamente regularizadas.

Figura 08 – Retifica de corpos de prova cilindros (a) e prensa servo-hidráulica (b).



(a)



(b)

Fonte: Autor (2017).

Para cada traço, foram ensaiados 3 corpos de prova, que depois de retificados foram fixados entre os pratos da prensa servo-hidráulica (figura 08 - b), da marca EMIC, presente no laboratório de construção civil do IFRN – Campus Mossoró, dando-se início ao ensaio até a ruptura, obtendo em MPa a força máxima resistida por eles.

4.5 ENSAIO DE ULTRASSOM

A realização do ensaio não destrutivo de Ultrassom, segue procedimentos presentes na NBR 8802 (1994). Os CP já retificados foram medidos, com o auxílio de um paquímetro, pesados em uma balança de precisão e numa balança hidrostática (Figura 09).

Figura 09 – Corpo de prova na balança hidrostática



Fonte: Autor (2017).

Depois, com as superfícies já regularizada e as mensurações realizadas, os CP foram submetidos ao aparelho de ultrassom portátil digital (Pundit) para medir a homogeneidade no concreto, da marca MATEST, presente no laboratório de construção civil do IFRN – Campus Mossoró.

Primeiramente, o aparelho foi calibrado utilizando a barra de referência, depois foi passado vaselina nas superfícies diametrais dos corpos de prova, afim de garantir o contato contínuo entre área ensaiada e do transdutor. Por fim foram posicionados os transdutores em cada lado do cilindro de concreto (Figura 10), permitindo que a medição fosse realizada.

Figura 10 – Posicionamento do corpo de prova no aparelho de ultrassom.



Fonte: Autor

(2017)

4.6 ENSAIO DE POROSIDADE E ABSORÇÃO

Este procedimento foi realizado conforme as indicações da NBR 9778 (1987), inicialmente os corpos de prova foram colocados na estufa por 72 horas, tendo sido pesados a cada 24 horas nesses 3 dias. Após completadas, foram retirados do equipamento e novamente pesados.

Por conseguinte, foram imersos em água. Inicialmente apenas 1/3 do seu volume imerso por 4 horas, depois mais 1/3 por mais 4 horas e por fim todo o seu volume ficou imerso por mais 64 horas. Após o final desse período, foram retirados da

imersão e tiveram suas superfícies enxugadas para que pudessem ser pesados em uma balança de precisão. Por fim, foram ainda pesados em uma balança hidrostática.

Absorção de água por imersão:

$$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (1)$$

Índice de vazios:

$$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s - M_i} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde:

M_{sat} = Massa do corpo de prova saturado;

M_s = Massa do corpo de prova seco em estufa;

M_i = Massa do corpo de prova saturado e imerso em água.

Figura 11 – Corpos de prova preparados para serem pesados na balança hidrostática.



Fonte: Autor (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

5.1.1 Agregado miúdo

Através do ensaio de granulometria regido pela NBR 248 (2003), foram obtidos os resultados descritos na tabela 08:

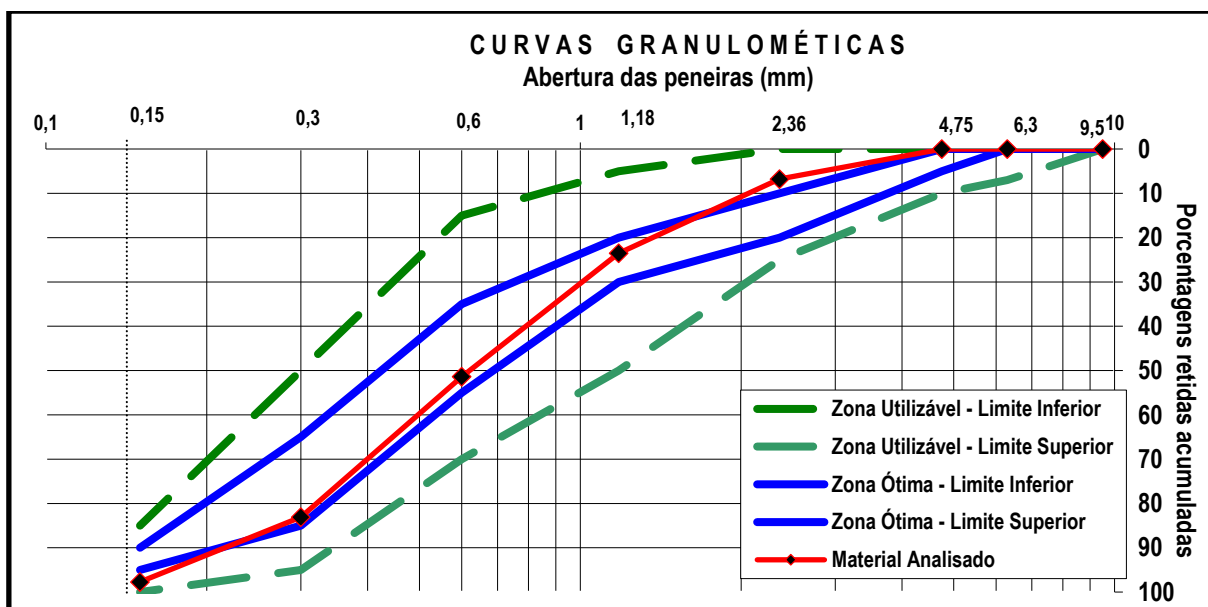
Tabela 08 – Análise granulométrica da areia

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA						
Peneiras	Amostra 1	Amostra 2	% Retido - Amostra 1	% Retido - Amostra 2	% Retido Acumulado - Amostra 1	% Retido Acumulado - Amostra 2
4,75 mm	0	0	0	0	0	0
2,36 mm	32,3	35,4	6,46	7,08	6,46	7,08
1,18 mm	82,2	85,2	16,44	17,04	22,9	17,04
0,600 mm	144,7	134	28,94	26,8	51,84	43,84
0,300 mm	159,5	157,5	31,9	31,5	83,74	75,34
0,150 mm	70,8	75,4	14,16	15,08	97,9	90,42
FUNDO	10,5	12,5	2,1	2,5	-	-
TOTAL	500	500	-	-	262,84	233,72
Módulo de Finura					2,6284	2,3372
Módulo de Finura MÉDIO					2,48	

Fonte: Autor (2017).

A partir destes resultados foi possível obter o módulo de finura igual a 2,48, que está dentro a margem estabelecida pela NBR 7211 (2009), assim como denotar que a dimensão máxima é a de 4,75mm. Além disso, com base na curva granulométrica (Figura 12), nota-se que o material estaria quase totalmente dentro da zona ótima e totalmente dentro da zona utilizável, conforme NBR 7211 (2009).

Figura 12 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Autor (2017).

Além da granulometria, há ainda os resultados dos ensaios para determinar a massa unitária e a específica da areia, especificados respectivamente nas tabelas 09 e 10. Os valores da massa unitária e massa específica foram de 1,53 e 2,61 respectivamente, tais valores coincidem com os encontrados em outras pesquisas realizadas como em Araujo (2015) e Almeida (2012).

Tabela 09 – Massa unitária da areia

MASSA UNITÁRIA DA AREIA	
Volume do Recipiente (cm ³)	14789,4
Massa da Amostra 1 (g)	22600
Massa da Amostra 2 (g)	22600
Massa Unitária Amostra 1	1,528
Massa Unitária Amostra 2	1,528
Massa Unitária MÉDIO	1,528

Fonte: Autor (2017)

Tabela 10 – Massa específica do areia

MASSA ESPECÍFICA DA AREIA	
Volume do Recipiente - Amostra 1 (cm³)	191,8
Massa da Amostra 1 (g)	500,1
Volume do Recipiente - Amostra 2 (cm³)	191,8
Massa da Amostra 2 (g)	500,2
Massa Unitária Amostra 1	2,607
Massa Unitária Amostra 2	2,608
Massa Unitária MÉDIO	2,6077

Fonte: Autor (2017).

5.1.2 Agregado graúdo

5.1.2.1 Agregado graúdo natural

Na tabela 11, estão os resultados encontrados no ensaio de granulometria regido pela NBR 7211 (2009). A partir destes, foi encontrado o diâmetro máximo da brita é 19 mm e o modulo de finura igual 3,18.

Tabela 11 – Análise granulométrica do AGN.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGN						
Peneiras	Amostra 1	Amostra 2	% Retido - Amostra 1	% Retido - Amostra 2	% Retido Acumulad o - Amostra 1	% Retido Acumulad o - Amostra 2
25 mm	0	0	0	0	0	0
19 mm	19,4	95,7	0,388	1,914	0,388	1,914
11,2 mm	2668,3	2661,8	53,366	53,236	53,754	53,236
9,5 mm	921,5	780,5	18,43	15,61	72,184	68,846
6,3 mm	1102,7	1298,3	22,054	25,966	94,238	94,812
4,8 mm	240,8	130,1	4,816	2,602	99,054	97,414
FUNDO	47,3	33,6	0,946	0,672	-	-
TOTAL	5000	5000	-	-	319,618	316,222
Módulo de Finura					3,19618	3,16222
Módulo de Finura MÉDIO					3,18	

Fonte: Autor (2017).

No que diz respeito a massa específica e unitária, os resultados dos ensaios regidos pelas, NBR NM 53 e NBR NM 45, respectivamente, estão dispostos na tabela 12 e tabela 13.

Tabela 12 – Massa específica do AGN

MASSA ESPECÍFICA DO AGN						
Amostras	Massa Seca	Massa Superfície Seca	Massa Submersa	Massa Específica do Agregado Seco	Massa Específica do Agregado na Condição Saturado Superfície Seca	Massa Específica Aparente
1	1951,43	1963,42	1231,52	2,67	2,68	2,71
2	1998,63	2009,54	1256,82	2,66	2,67	2,69
3	2445,2	2455,59	1477,88	2,50	2,51	2,53
4	2349,85	2359,64	1542,58	2,88	2,89	2,91
MÉDIA				2,675	2,688	2,711

Fonte: Autor (2017)

Tabela 13 – Massa unitária do AGN

MASSA UNITÁRIA DA BRITA (Granítica)						
Amostras	Volume Recipiente (m³)	Massa do Recipiente (Kg)	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária Média do Agregado
MASSA UNITÁRIA DA BRITA (compactada)	0,01473	7,26	1483,192	1496,774	1503,565	1494,510
MASSA UNITÁRIA DA BRITA (solta)			1367,742	1360,951	1381,324	1370,006

Fonte: Autor (2017)

Os valores da massa unitária e massa específica foram de 1370 e 2,7 respectivamente, tais valores, estão de acordo com o visto em estudos como o de Araujo (2015) e Almeida (2012).

5.1.2.2 Agregado graúdo de RCD

A tabela 14, apresenta os resultados encontrados no ensaio de granulometria regido pela NBR 7211 (2009). A partir dele, foi obtido o diâmetro máximo da brita é 19 mm e o modulo de finura igual 3,85.

Tabela 14 – Granulometria do RCD

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RCD						
Peneiras	Amostra 1	Amostra 2	% Retido - Amostra 1	% Retido - Amostra 2	% Retido Acumulado - Amostra 1	% Retido Acumulado - Amostra 2
25 mm	0	0	0	0	0	0
19 mm	245,6	239,8	4,912	4,796	4,912	4,796
11,2 mm	4547,2	4403,4	90,944	88,068	95,856	88,068
9,5 mm	122,4	132,9	2,448	2,658	98,304	90,726
6,3 mm	37,3	177,5	0,746	3,55	99,05	94,276
4,8 mm	8,1	13,8	0,162	0,276	99,212	94,552
FUNDO	39,4	32,6	0,788	0,652	-	-
TOTAL	5000	5000	-	-	397,334	372,418
Módulo de Finura					3,97334	3,72418
Módulo de Finura MÉDIO					3,85	

Fonte: Autor (2017).

No que diz respeito a massa específica e unitária, os resultados dos ensaios regidos pelas, NBR NM 53 e NBR NM 45, respectivamente, estão dispostos nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Massa específica do RCD

MASSA ESPECÍFICA DA BRITA (RCD)						
Amostras	Massa Seca	Massa Saturada Superfície Seca	Massa Submersa	Massa Específica do Agregado Seco	Massa Específica do Agregado na Condição Saturado Superfície Seca	Massa Específica Aparente
1	1983,25	2134,78	1211,82	2,15	2,31	2,57
2	1821,02	1964,97	1109,54	2,13	2,30	2,56
MÉDIA				2,139	2,305	2,565

Fonte: Autor (2017).

Tabela 16 – Massa unitária do RCD

MASSA UNITÁRIA DA BRITA (RCD)						
Amostras	Volume Recipiente (m³)	Massa do Recipiente (Kg)	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária do Agregado	Massa Unitária Média do Agregado
MASSA UNITÁRIA DA BRITA (compactada)	0,01473	7,26	1225,127	1225,127	1211,545	1220,600
MASSA UNITÁRIA DA BRITA (solta)			1123,260	1136,842	1143,633	1134,578

Fonte: Autor (2017).

Os resultados, da massa unitária e massa específica foram de 1134,6 e 2,6 respectivamente, tais resultados, são corroborados por pesquisas como a de Araújo (2015).

5.1.2.3 Absorção

Com o ensaio que visa descobrir a massa específica do agregado graúdo, se faz possível ainda conhecer a taxa de absorção dos agregados, tais resultados podem ser consultados na tabela 17.

Tabela 17 – Taxa de absorção dos agregados graúdos

Absorção AGN (%)	Absorção RCD (%)
0,500	7,773

Fonte: Autor (2017)

A partir destes resultados pode-se comprovar o que foi observado em diversas das literaturas citadas, como em Bajad (2015), o agregado graúdo originado da reciclagem dos resíduos de construção e demolição, tem de fato uma taxa de absorção maior do que o AGN. No caso em questão o valor de absorção aumenta cerca de 15 vezes, tal fator poderia estar ligado, a maior porosidade deste material por possuir em alguns casos argamassa aderida à superfície do agregado, assim como presença de resíduos cerâmicos.

5.2 RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL

As tabelas 18, 19 e 20 apresentam os resultados dos ensaios de compressão axial realizados na idade de 28 dias no concreto de referência e com substituição do agregado natural por RCD seco e lavado.

Tabela 18 – Resistencia a Compressão – Concreto de referência

CP	Resistência à Compressão (MPa)
R1	23,26
R2	23,77
R3	23,91
Média	23,65

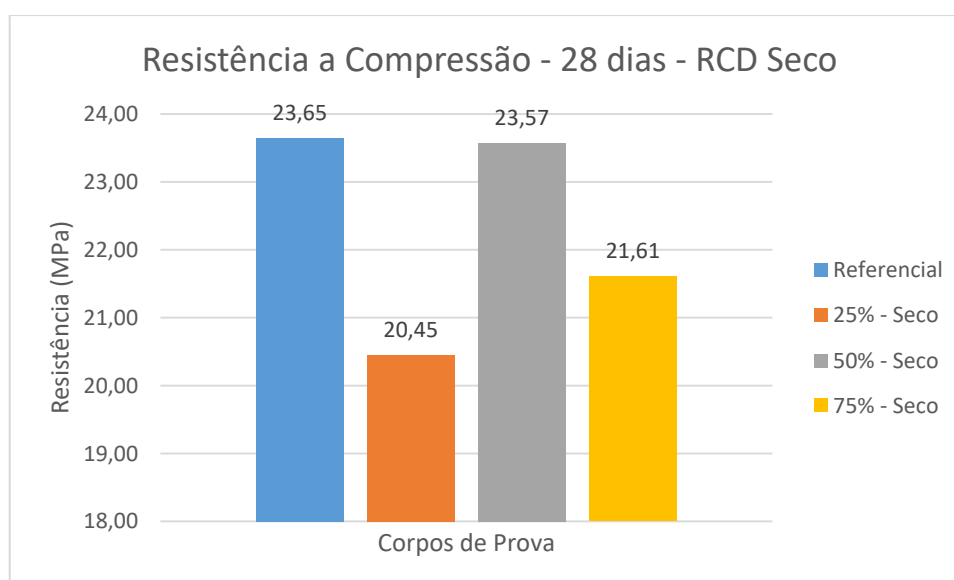
Fonte: Autor (2017)

Tabela 19 – Resistência à Compressão – RCD Seco

Resistencia a compressão - RCD Seco					
CP	Resistência à Compressão (MPa)	CP	Resistência à Compressão (MPa)	CP	Resistência à Compressão (Mpa)
S251	20,73	S501	24,2	S751	21,91
S252	20,76	S502	23,02	S752	21,32
S253	19,85	S503	23,49	S753	21,59
Média	20,45	Média	23,57	Média	21,61

Fonte: Autor (2017).

Figura 13 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Seco.



Fonte: Autor (2017)

Também é importante destacar (Figura 13) que houve um crescimento de resistência quando aumentado o teor de substituição de 25 para 50%, ficando o valor

deste o melhor entre as três substituições, sendo apenas cerca de 0,35% inferior ao valor encontrado para os concretos de referência. No entanto, tal comportamento não se repetiu quando se aumentou para 75% de substituição, tendo está um valor inferior a de 50% porém ainda maior que a de 25%.

Este resultado confirma o mesmo comportamento encontrado por Celedonio (2015), para resistência à tração e à compressão. Ainda é possível confirmar o que afirmou Kubissa (2015), pois a substituição de 50% de RCD sem qualquer tratamento apresentou, resultados satisfatórios já no quesito resistência à compressão.

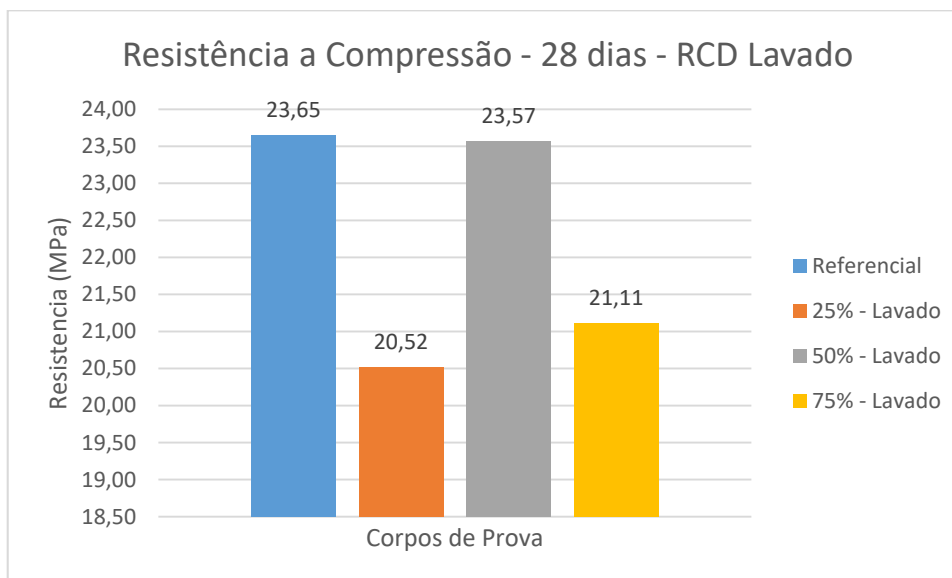
Tabela 20 – Resistencia a Compressão – RCD Lavado

Resistencia a compressão - RCD Lavado					
CP	fcK (MPa)	CP	fcK (MPa)	CP	fcK (MPa)
L251	20,56	L501	23,49	L751	21,3
L252	20,31	L502	23,37	L752	20,93
L254	20,68	L503	23,86	L753	21,1
Média	20,52	Média	23,57	Média	21,11

Fonte: Autor (2017)

Os concretos onde houve a substituição do AGN pelo RCD Lavado, obtiveram também para todos os teores de substituição a resistência esperada aos 28 dias (Figura 14). Além disso, eles tiveram um comportamento semelhante aos do RCD seco, ou seja, tiveram um crescimento de tensões do 25 para o 50% e um decréscimo quando aumentada para 75% de substituição, sendo assim como para o anterior, está última ainda maior que a de 25%.

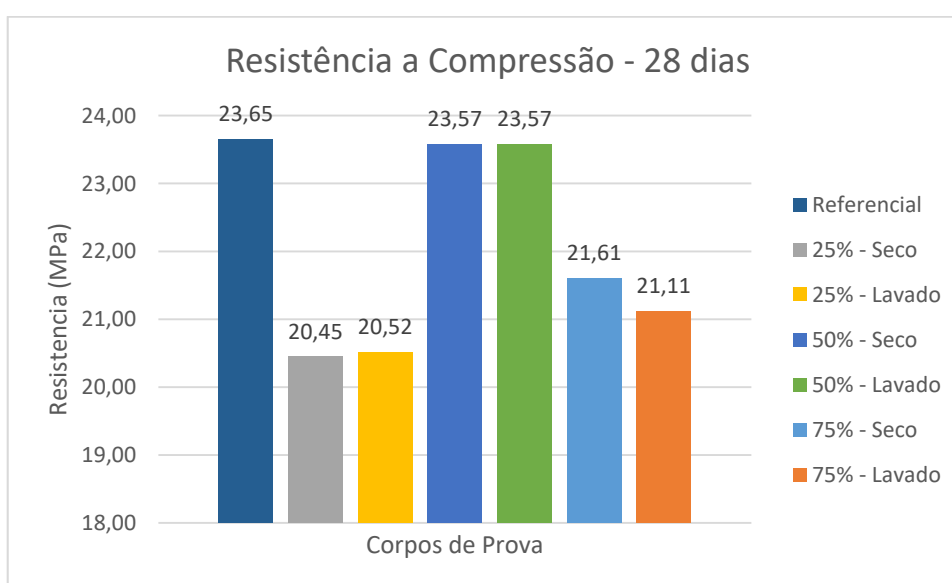
Figura 14 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Lavado.



Fonte: Autor (2017)

No que diz respeito a substituição de 50% de RCD Lavado, temos que assim como para o RCD Seco, ela foi a melhor diferindo apenas cerca de 0,35% quando comparado ao concreto de referência.

Figura 15 – Representação gráfica das resistências a compressão dos CP's aos 28 dias – RCD Seco e Lavado.



Fonte: Autor (2017).

Finalmente, conforme a figura 15, observa-se que houve pouca diferença entre os valores de resistência a compressão entre os concretos com substituição de RCD Seco e Lavado.

Para a substituição de 25%, houve um aumento de 0,34% de resistência entre o concreto com agregado gráúdo seco para o lavado. Com 50% de substituição, os valores foram praticamente os mesmo, e para 75% houve uma diminuição de 2,4% do concreto com RCD seco para o lavado.

5.3 ABSORÇÃO E POROSIDADE

Os resultados dos ensaios de porosidade e absorção realizados na idade de 28 dias nos concretos de referência, com substituição de RCD seco e lavado estão apresentados nas tabelas 21, 22 e 23.

Tabela 21 – Valores de Absorção (%) e Porosidade (%) – CP de referência.

Absorção – Referencial		Porosidade-Referencial	
CP	Absorção	CP	Porosidade
R1	5,25	R1	11,92
R2	5,47	R2	12,35
R3	5,52	R3	12,47
Média	5,41	Média	12,24

Fonte: Autor (2017).

Tabela 22 – Valores de Absorção (%) – CP com RCD Seco

Absorção - RCD Seco					
CP	Absorção (%)	CP	Absorção (%)	CP	Absorção (%)
S254	6,15	S504	6,84	S754	15,34
S255	5,77	S505	6,43	S755	16,16
S256	6,09	S506	6,83	S756	14,03
Média	6,00	Média	6,70	Média	15,18

Fonte: Autor (2017).

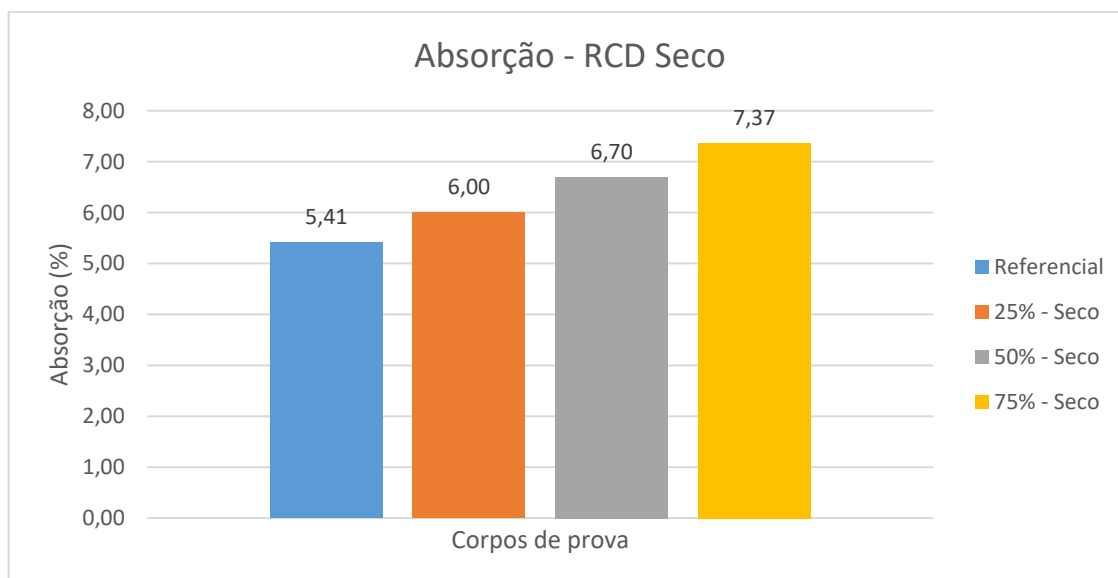
Tabela 23 – Valores de Porosidade (%) – CP com RCD Seco

Porosidade- RCD Seco					
CP	Porosidade (%)	CP	Porosidade (%)	CP	Porosidade (%)
S254	13,51	S504	14,46	S754	7,44
S255	12,68	S505	13,72	S755	7,89
S256	13,34	S506	14,33	S756	6,77
Média	13,17	Média	14,17	Média	7,37

Fonte: Autor (2017).

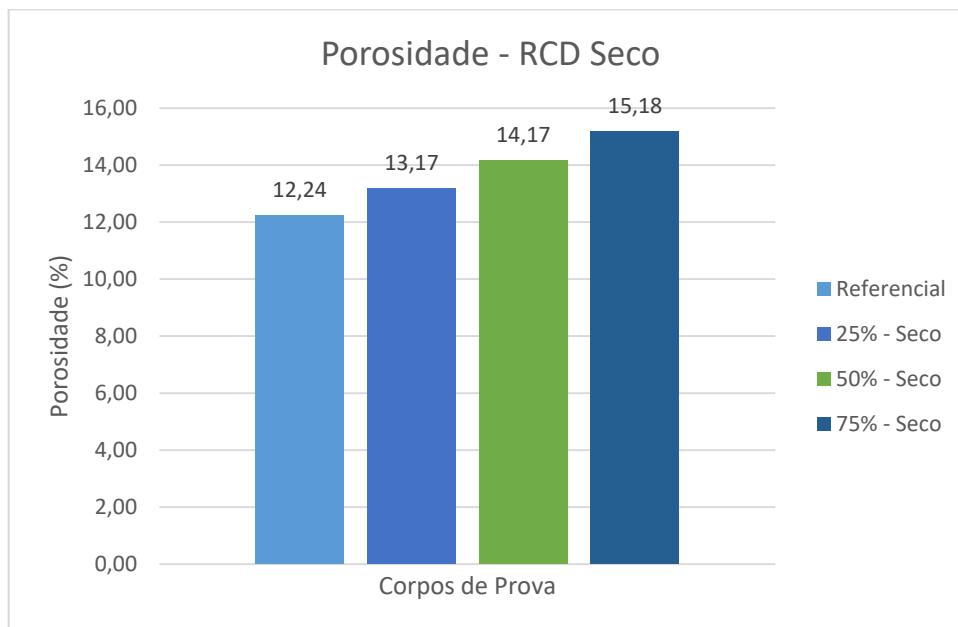
Inicialmente fazendo a análise dos resultados encontrados para o concreto com substituição de AGN por RCD Seco, tem-se um aumento tanto da absorção quanto da porosidade a medida que se aumentou as quantidades de substituições (Figura 16 e Figura 17)

Figura 16 – Representação gráfica dos valores de Absorção (%) – CP com RCD Seco



Fonte: Autor (2017)

Figura 17 – Representação gráfica dos valores de Porosidade (%) – CP com RCD Seco



Fonte: Autor (2017)

Para a absorção, tal aumento ficou em média de 10,8% para cada teor de substituição. A porosidade, teve um aumento de 7,4%, em média, para cada teor de substituição.

Tabela 24 – Valores de Absorção (%) – CP com RCD Lavado

Absorção - RCD Lavado					
CP	Absorção (%)	CP	Absorção (%)	CP	Absorção (%)
L254	6,18	L504	6,18	L754	7,51
L255	6,27	L505	6,68	L755	7,27
L256	6,51	L506	6,83	L756	7,28
Média	6,32	Média	6,56	Média	7,35

Fonte: Autor (2017)

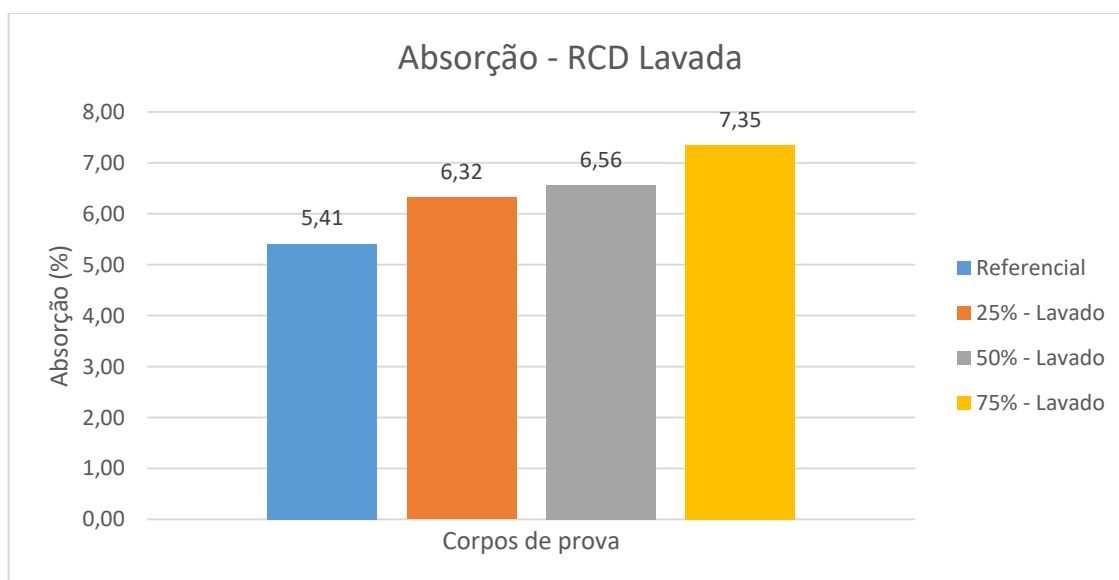
Tabela 25 – Valores de Porosidade (%) – CP com RCD Lavado

Porosidade - RCD Lavado					
CP	Porosidade (%)	CP	Porosidade (%)	CP	Porosidade (%)
L254	13,55	L504	13,20	L754	15,45
L255	13,79	L505	14,26	L755	15,10
L256	14,19	L506	14,57	L756	15,01
Média	13,84	Média	14,01	Média	15,19

Fonte: Autor (2017)

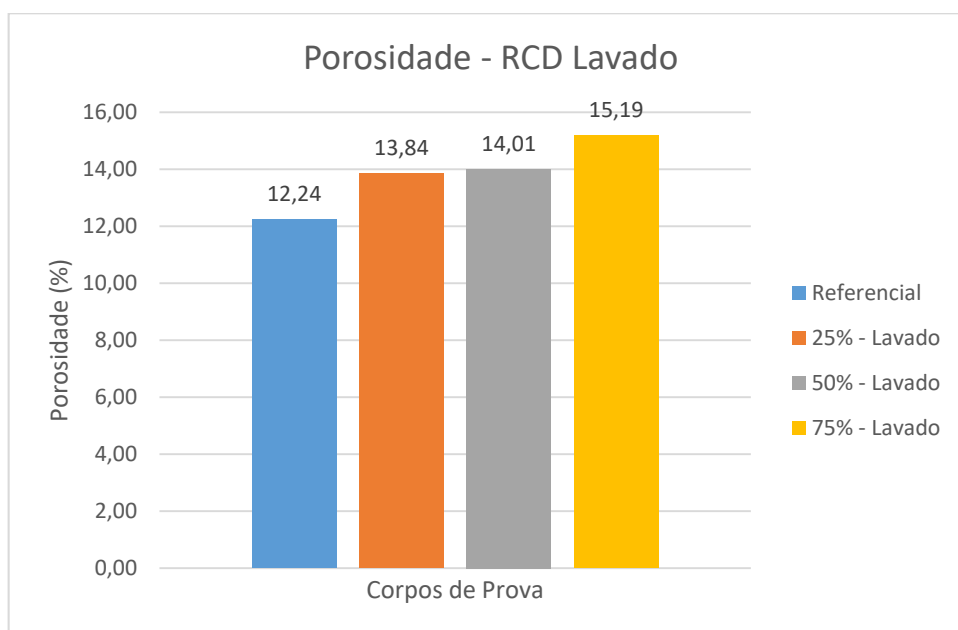
No que diz respeito aos concretos com substituição de AGN por RCD Lavado, o comportamento foi semelhante ao encontrado para o RCD Seco, ou seja, houve um aumento gradativo a medida que se aumentou a quantidade de substituição (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 – Representação gráfica dos valores de absorção (%) – CP com RCD Lavado



Fonte: Autor (2017)

Figura 19 – Representação gráfica dos valores de porosidade (%) – CP com RCD Lavado



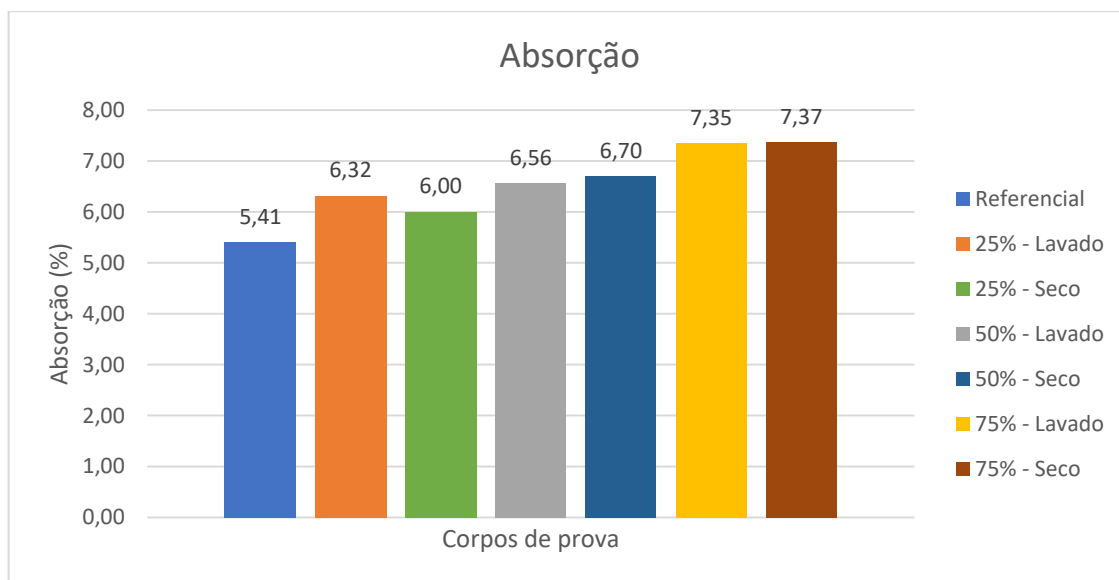
Fonte: Autor (2017)

Para a absorção, tal aumento ficou em média de 10,9% para cada teor de substituição. A porosidade, teve um aumento de 7,6%, em média, para cada teor de substituição.

Estes resultados, em que o aumento do teor de substituição aumenta as propriedades analisadas nesse item, corroboram o que diz a literatura, como por exemplo Kubissa (2015), Araujo (2015) e Surya (2013).

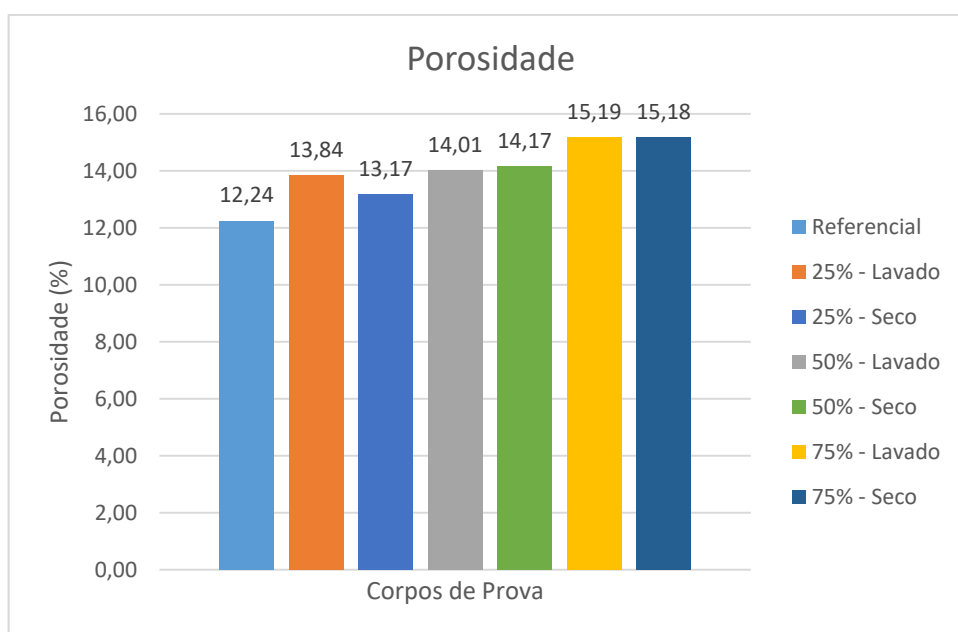
Finalmente, pode-se ainda analisar a variação destas propriedades quando comparadas apenas entre a variação dos teores de RCD, diferenciados aqui por serem ou não previamente lavados (Figura 20 e Figura 21).

Figura 20 – Comparativo entre todos os valores de absorção.



Fonte: Autor (2017)

Figura 21 – Comparativo entre todos os valores de porosidade.



Fonte: Autor (2017)

Para a substituição de 25%, houve um aumento de 5% de absorção entre o concreto com agregado gráúdo seco para o lavado. 50% de substituição, os valores

para concretos com RCD Seco foram 2,43% maiores do que para o AGN, e para 75% houve um aumento de 0,27% do concreto com RCD seco para o lavado.

No que diz respeito a porosidade a substituição de 25%, houve uma diminuição de 5,1% de porosidade entre o concreto com agregado graúdo lavado para o seco. 50% de substituição, os valores para concreto com RCD Seco foram 1,14% maiores do que para o RCD lavado, e para 75% houve uma diminuição de 0,1% do concreto com RCD lavado para o seco.

5.4 ENSAIO DE ULTRASSOM

Neste item está contido os resultados dos ensaios de ultrassom realizados na idade de 28 dias nos concretos de referência, com substituição de RCD seco e lavado.

De acordo com a tabela 26, a seguir, pode-se classificar a qualidade do concreto dependendo do valor da velocidade linear de propagação do pulso.

Tabela 26 – Classificação da qualidade do concreto

Velocidade de Propagação linear (m/s)	Qualidade do Concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte: Adaptado de I. Lawson (et al., 2011).

Nas tabelas 27, 28 e 29 apresentam o valores do resultados obtidos no ensaio de ultrassom para o concreto de referência e com substituições com agregado de RCD seco e lavado.

Tabela 27 – Velocidade do pulso ultrassônico

Velocidade - Pulso Ultrassônico (m/s)	
R1	4674,42
R2	4691,08
R3	4547,34
R4	4557,08
R5	4429,20
R6	4333,33
Média	4538,74
Qualidade	Excelente

Fonte: Autor (2017)

Tabela 28 – Velocidade Pulso Ultrassônico - RCD Seco

Velocidade Pulso Ultrassônico - RCD Seco					
CP	Velocidade (m/s)	CP	Velocidade (m/s)	CP	Velocidade (m/s)
S251	4543,28	S501	4330,09	S751	4357,60
S252	4527,21	S502	4355,75	S752	4339,78
S253	4474,04	S503	4377,17	S753	4282,24
S254	4511,16	S504	4450,55	S754	4277,78
S255	4435,73	S505	4360,09	S755	4196,24
S256	4399,12	S506	4369,89	S756	4228,33
Média	4481,76	Média	4373,92	Média	4280,33
Qualidade	Ótimo	Qualidade	Ótimo	Qualidade	Ótimo

Fonte: Autor (2017)

Tabela 29 – Velocidade Pulso Ultrassônico - RCD Lavado

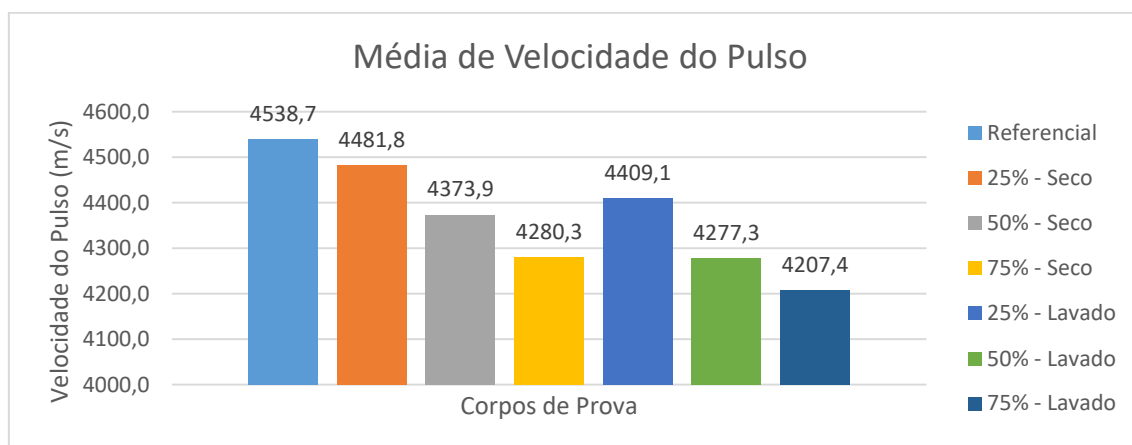
Velocidade pulso ultrassônico - RCD Lavado					
CP	Velocidade (m/s)	CP	Velocidade (m/s)	CP	Velocidade (m/s)
L251	4435,16	L501	4342,55	L751	4215,64
L252	4334,75	L502	4321,28	L752	4162,55
L253	4439,82	L503	4209,98	L753	4181,63
L254	4410,48	L504	4271,76	L754	4225,47
L255	4368,53	L505	4368,31	L755	4232,22
L256	4465,93	L506	4149,90	L756	4227,18
Media	4409,12	Media	4277,30	Media	4207,45
Qualidade	Ótimo	Qualidade	Ótimo	Qualidade	Ótimo

Fonte: Autor (2017)

É possível verificar que quanto a qualidade do concreto, os de referência foram classificados como excelente, enquanto todos os outros, ou seja, os que possuem substituição, ficaram classificados como ótimos.

Podemos também notar que houve uma diminuição da velocidade de propagação linear, conforme foi aumentado o valor de substituição do AGN pelo RCD tanto o seco quanto o lavado (Figura 22). Tal comportamento corrobora Barbosa (et al., 2013), que afirmou que concretos feitos com RCD teriam uma menor velocidade de propagação da onda ultrassônica.

Figura 22 – Média das velocidades dos Pulsos Ultrassônicos



Fonte: Autor (2017)

Houve um decréscimo médio de cerca de 2% por acréscimo de 25% de substituição de RCD Seco e de 2,6% de decréscimo para o acréscimo de RCD Lavado. No que diz respeito às substituições para 25%, houve um acréscimo de 1,65% da lavada para a seca, 2,26% da lavada para a seca na porcentagem de 50% de substituição e um acréscimo de 1,73% entre a lavada e a seca para a porcentagem de 75% de substituição.

Com os resultados da ultrassom, ainda é possível encontrar o módulo de elasticidade dinâmico do concreto, para tanto, nesta obra será utilizada a metodologia abordada por Barluega e Hernández-Olivares (2010). Os resultados estão resumidos nas tabelas a seguir.

Modulo de elasticidade dinâmico:

$$E_d = \frac{\rho V^2}{10^6} \quad (3)$$

Onde:

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (GPa);

ρ = Densidade (g/cm³);

V = Velocidade do pulso ultrassônico (m/s).

Tabela 30 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP Referencial

	Módulo de Elasticidade Dinâmico (Gpa) - Concreto de referência
CP	
Ed	49,33

Fonte: Autor (2017)

Tabela 31 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP com RCD Seco

Modulo de elasticidade dinâmico (GPa) - RCD Seco					
CP	25%	CP	50%	CP	75%
Ed	47,07	Ed	43,29	Ed	40,82

Fonte: Autor (2017)

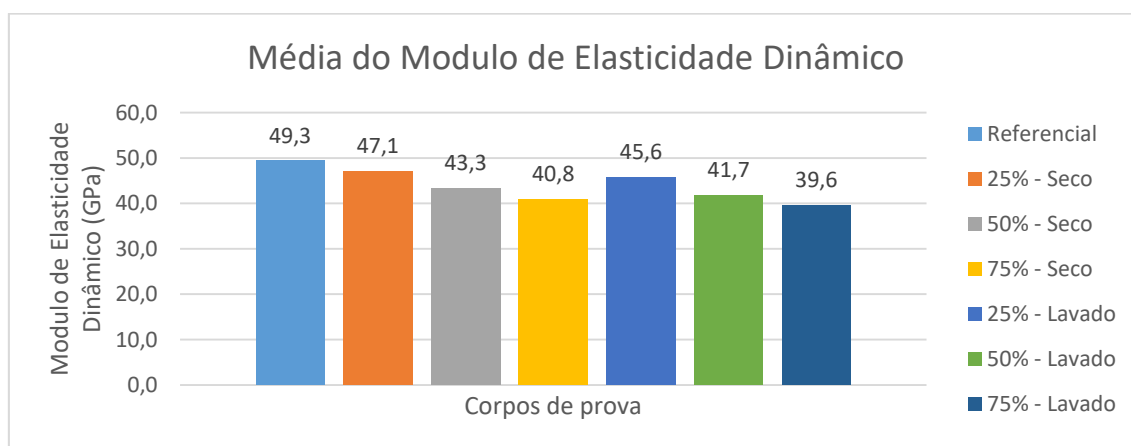
Tabela 32 – Modulo de elasticidade dinâmico – CP com RCD Lavado

Modulo de elasticidade dinâmico (GPa) - RCD Lavado					
CP	25%	CP	50%	CP	75%
Ed	45,64	Ed	41,68	Ed	39,61

Fonte: Autor (2017)

Pode-se notar que assim como afirma Surya (2015), de fato o modulo de elasticidade diminui com o aumento da porcentagem de substituição de AGN por RCD, aqui acontecendo o mesmo processo tanto para o Seco, quanto para o Lavado.

Figura 23 – Média das velocidades dos módulos de elasticidade dinâmico.



Fonte: Autor (2017).

A partir do gráfico supracitado (Figura 23), pode-se notar as taxas de crescimento e decréscimo ocorridas. Houve um decréscimo médio de cerca de 6,5% por acréscimo de 25% de substituição de RCD Seco e de 7,6% de decréscimo para o acréscimo de RCD Lavado. No que diz respeito as substituições para 25% houve um acréscimo de 3,3% da lavada para a seca, 3,8% da lavada para a seca na porcentagem de 50% de substituição e um acréscimo de 3% também entre a lavada e a seca para a porcentagem de 75% de substituição.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em visto as grandes quantidades de matérias primas usadas diariamente na indústria do concreto, o presente estudo objetivou comparar as respostas mecânicas, do concreto com AGN e o concreto com a substituição parcial de RCD.

Para tanto, do exposto, foi possível depreender as seguintes constatações:

- O RCD apresentou uma absorção cerca de 15 vezes maior que a do AGN;
- Todos os traços, para uma mesma faixa de resistência, obtiveram valores de resistência a compressão maiores que o mínimo de 20 MPa, exigido pela ABNT NBR 6118 (2014), para concretos estruturais, denotando uma provável viabilidade da utilização dos mesmos para este fim;
- Houve um aumento, dos valores de resistência à compressão quando passado o teor de substituição de 25 para 50% e uma diminuição quando chegado aos 75%. Tendo, para este quesito, o teor de 50% tido o melhor comportamento entre os testado chegando a uma diferença de apenas 0,35% menor do que o obtido pelo traço de referência. Mostrando ser provavelmente admissível a utilização do mesmo;
- Para os concretos analisados, quanto maior o teor de substituição, maior porosidade e absorção e menor a propagação de onda ultrassônica e modulo de elasticidade dinâmico. Indicando a relação inversamente proporcional de tais propriedades;
- Com relação a velocidade de propagação da onda ultrassônica, todos os traços com substituição tiveram, como qualidade do concreto, a classificação de ótimos;
- O processo de lavagem do RCD não trouxe melhora na trabalhabilidade do concreto produzido;
- Para resistência a compressão, porosidade e absorção, não houveram evidencias de algum ganho ou perda que o processo de lavagem do RCD, anterior a sua utilização, tenha dado ao concreto produzido. Para a velocidade de propagação do pulso ultrassônico e módulo de elasticidade

dinâmico, houveram melhores resultados para o concreto com RCD seco. No entanto nada muito significativo que justifique a realização do processo.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015

ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLY, Adriano Chechetto. **Concreto Armado: Novo Milênio Cálculo Prático e Econômico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.

ALMEIDA, S. M. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. 213f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil – **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2012**.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM C125/2001. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate, 4 p.

ARAUJO, R. C. C. **Avaliação experimental de concretos sustentáveis utilizando rcd como agregado graúdo, resíduo de mármore como agregado miúdo e com adição de fibra sintética**. 190f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – **UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Viçosa, 2015**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia de utilização do cimento Portland**. 2002. 28 f. Boletim técnico ABCP, São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655** – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900** – Água de amassamento do concreto Parte 1:Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732** – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474 – NM 23** – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802** – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 1994. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR EB – 1763** – Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992. 4p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45** – Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52** – Agregado miúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53** – Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67** – Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). 3 ed. Rio de Janeiro, 2010. 20 p.

BAJAD, M. N. et al. Effect of Recycled Aggregate and Fly Ash in Concrete. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**. [S.l.], v. 12, p. 28-35. Apr. 2015.

BARBOSA, M. T. G. et al. Concreto Ecológico. **Principia**. Juiz de Fora, v. 16, p. 27-35. 2012.

BARLUENGA, G; HERNÁNDEZ-OLIVERES, F. Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste. **Construction and Building Materials**. [S.l.] v. 27, p. 1601-1607. 2010.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**, 1. 5 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 488p.

BEHERA, Monalisa et al. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete e a breakthrough towards sustainability in construction sector: a review. **Construction And Building Materials**. [S.l.], v. 68, p. 501-516. 15 out 2014.

BRASIL. **Construção sustentável**. Disponível em: <www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>. Acesso em: 19 julho 2017.

BRAVO, Miguel et al. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal Of Cleaner Production**. [s.l.], v. 99, p. 59-74. 11 mar. 2015.

CARVALHO, R. C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 368p.

CELEDONIO, A. V. **Análise do comportamento mecânico do concreto com substituição de agregado graúdo originado da reciclagem de resíduos de construção e demolição utilizando o método da correlação digital de imagens**. 2015. 77f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) – **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO, Mossoró, 2015**.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> em: 05 mai. 2015.

CUNHA, J. C. S. **Traços de concreto sem função estrutural com adição de entulho**. 55f. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado Profissional em Materiais – **FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**. Volta Redonda – RJ, 2015.

DODDS, Wayne et al. Durability performance of sustainable structural concrete: Effect of coarse crushed concrete aggregate on microstructure and water ingress. **Construction And Building Materials**. [S.l.], v. 145, p. 183-195. 30 mar. 2017.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. 105f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil – **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**. Belo Horizonte – MG, 2010l.

GONÇALVES, M. S. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. 116f. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Engenharia Civil – **UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, São Leopoldo**, 2011.

KUBISSA, Wojciech et al. Properties of concretes with natural aggregate improved by RCA addition. **Procedia Engineering**. [S.l.], v. 108, p. 30-38. 2015.

LIMBACHIYA, Mukesh et al. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. **Construction And Building Materials**. [S.l.], v. 27, p. 439-449. 2012.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto** – microestrutura, propriedades e materiais. Instituto Brasileiro do Concreto, 2008, São Paulo.

SILVA, Sérgio et al. Investigation of mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste and fly ash. **Construction And Building Materials**. [S.l.], v. 153, p. 704-715. 17 jul. 2017.

SILVA, R.v.; BRITO, J. de; DHIR, R.k.. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction And Building Materials**. [s.l], v. 65, p. 201-217. maio 2014

SURYA, M. et al. Recycled aggregate concrete for Transportation Infrastructure. **Social and Behavioral Sciences**. [S.l], v. 104, p. 1158-1167. 2013.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 157f. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Civil – **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, Maceió, 2007**.

TUTIKIAN, B. ; HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. In: **Geraldo C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 415-451.

VALLE, J. do; BRAZ, E. M. Q.; SANTOS, C. L. dos. Resíduos Sólidos Urbanos. **Revista Ceciliana**, São Paulo, [S.l.], [S.l.], p.1-4, dez. 2013.

YONG, P. C; TEO, D. C. L. Utilisation of Recycled Aggregate as Coarse Aggregate in Concrete. **UNIMAS E-Journal of Civil Engineering**. [S.l], v. 1, p. 1-6. Aug 2009.

ZEGA, Claudio Javier. et al. Influence of Natural Coarse Aggregate Type on the Transport Properties of Recycled Concrete. **American Society of Civil Engineers**. [S.l], v. 26, [S.l]. 2014.