



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR – PAU DOS FERROS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CELSON GOMES DE HOLANDA JÚNIOR

**INCORPORAÇÃO DE RCD EM CONCRETO: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E
APLICABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PAU DOS FERROS – RN
2019

CELSON GOMES DE HOLANDA JÚNIOR

**INCORPORAÇÃO DE RCD EM CONCRETO: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E
APLICABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof^o. Dr. José Flávio Timóteo Júnior – UFERSA.

Coorientador: Prof^o. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa – UFERSA.

PAU DOS FERROS – RN
2019

© 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.

D95i DE HOLANDA, CELSON GOMES DE HOLANDA JÚNIOR.
Incorporação de RCD em concreto: análise
Físico-química e aplicabilidade na construção
civil. / Celson Gomes de Holanda Júnior. - 2019.
81 f. : il.

Orientador: Profo. Dr. José Flávio Timóteo
Júnior.
Coorientador: Profº. Dr. Cláwsio Rogério Cruz
de Sousa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Concreto. 2. Aplicações de RCD em concreto.
3. Caracterização de RCD. 4. Reutilização de
materiais. I. Timóteo Júnior, Profo. Dr. José
Flávio Timóteo Júnior, orient. II. de Sousa,
Profº. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa, co-
orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CELSON GOMES DE HOLANDA JÚNIOR

**INCORPORAÇÃO DE RCD EM CONCRETO: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E
APLICABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Monografia apresentada ao Centro
Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a
obtenção do título de Engenheiro Civil.

APROVADA EM:

11 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA

José Flávio Timóteo Júnior

Prof.^o. Dr. José Flávio Timóteo Júnior – UFERSA.
Presidente

Cláudio Rogério Cruz de Sousa

Prof.^o. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa – UFERSA.
Primeiro Membro

[Assinatura]

Prof.^o. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva – UFERSA
Segundo Membro

OFEREÇO

Dedico este trabalho aos meus pais, Celson Gomes de Holanda Júnior e Maria Auzirene do Nascimento de Holanda, aos meus irmãos Mitaly do Nascimento Holanda, Mitalo do Nascimento de Holanda e aos meus amigos que sempre acreditaram e me ajudaram nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me ajudar ao longo da minha vida, mi ajudando sempre a superar as dificuldades e guiando meus passos ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Celson e Auzirene, meus irmãos, Mitalo e Mitaly, minha sobrinha, Laís, minha avó Maria, por todo o apoio e compreensão, pois sem os mesmos não teria conseguido chegar onde cheguei.

A minha tia Gleice, por ter me ajudado nesta caminhada, sendo uma das principais motivações ao longo desta caminhada.

Ao meu orientador José Flávio, por todo seu apoio e incentivo, proporcionando o desenvolvimento desse então trabalho.

Ao meu coorientador, Clawsio Rogério, por toda a ajuda e confiança depositada sobre mim. Por ser sobre tudo, um amigo.

Ao professor Matheus Fernandes, pela grande contribuição na interpretação de alguns resultados. Por ser sobre tudo, um amigo.

A professora Josy Ramos, por todo incentivo para realização da pesquisa, ajudando de forma indiretamente para produção da mesma. E por ser, sobre tudo, um exemplo de inspiração e amiga.

Aos amigos Ítalo Eduardo, Vitor Souza e Jorge Alves pelo incentivo na realização de tal estudo.

Ao discente José Romário, pela ajuda na realização de alguns ensaios.

A disponibilidade das instituições UFERSA – Campus Mossoró e UFRN pela disponibilidade do uso dos seus laboratórios.

A todos colegas de estudo, aos amigos e professores por toda ajuda e ensinamentos repassados ao longo do curso.

Sou muito grato a todos por fazerem de um sonho, uma realidade. Conquista essa que foi repleta de vitórias e dificuldades ao longo do seu percurso e que representa uma grande realização pessoal. Enfim, obrigado a todos.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. ” (Ayrton Senna)

RESUMO

Ao longo de sua existência, o homem veio a utilizar os recursos naturais do planeta Terra em seu benefício de maneira intensiva e insaciável, sem que houvesse uma preocupação com sua disponibilidade ou com maneiras de reutiliza-las. Todavia, em função de inúmeros problemas atrelados a este fato, constantes medidas foram tomadas para buscar promover uma adequação aos resíduos gerados. Nesse sentido, diante da crise ambiental promovida mediante essas atividades e da escassez dos recursos naturais, inúmeros estudos se desenvolveram a cerca da utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) na matriz do concreto, haja vista que este é um dos materiais mais consumidos na área da construção civil. Logo, essa pesquisa teve como objetivo fazer uma análise físico-química do RCD incorporado ao concreto, para possíveis aplicações na construção civil. Para tanto, foi desenvolvido um referencial teórico com base em resultados vinculados à linha de pesquisa proposta e com o intuito de analisar as propriedades e características do concreto com adição em percentuais controlados de RCD, foram realizados por meio experimental, com abordagem de dados quantitativa e qualitativa, no estado fresco e no endurecido do concreto, os ensaios de abatimento de cone, resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios, massa específica, limite de liquidez, limite de plasticidade e fluorescência de raios X. A partir de então, pode-se notar um crescimento na resistência mecânica a compressão significativa de 5,10% na amostra 2 em relação a amostra 1, enquanto a amostra 3 apresentou um decaimento de 62,2% em relação a amostra de concreto sem adição de RCD. Por outro lado, no que remeteu aos parâmetros índice de vazios e taxa de absorção de água, foram atingidos 5,10% e 28,42% de acréscimo para a amostra 2 e 3, respectivamente, para o parâmetro de absorção de água, e um aumento 4,68% e 25,38% da amostra 2 e 3, respectivamente, quando em comparação com a amostra sem adição de resíduo, para o parâmetro de índice de vazios. Todavia, foi constatado que a presença de 6,050% de alumínio (Al) e de 18,959% de Ferro (Fe) na composição do RCD, pôde observar impactos diretos sobre a propriedade de pega do concreto. Desta maneira, com base nos resultados aqui apresentados, nota-se uma significativa viabilidade do uso do concreto com adição do RCD a depender do direcionamento de sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Concreto, Aplicações de RCD em concreto, Caracterização de RCD, Reutilização de materiais.

ABSTRACT

Throughout its existence, man came to utilize the natural resources of planet Earth to his benefit in an intensive and insatiable way, without there being a concern with its availability or with ways to reuse them. However, due to numerous problems linked to this fact, constant measures were taken to seek to promote an adequacy to the waste generated. In this sense, in the face of the environmental crisis promoted by these activities and the scarcity of natural resources, numerous studies have developed about the use of construction and demolition waste (RCD) in the concrete matrix, given that this is one of the most consumed materials in the construction sector. Therefore, this research had as objective to make a physical-chemical analysis of the RCD incorporated in the concrete, for possible applications in the civil construction. For that, a theoretical framework was developed based on results linked to the proposed line of research and with the purpose of analyzing the properties and characteristics of the concrete with addition in controlled percentages of RCD, were performed by means of experimental, with quantitative data approach and qualitative, in the fresh and hardened state of the concrete, cone-abatement tests, compressive strength, water absorption, void index, specific mass, liquidity limit, plasticity limit and X-ray fluorescence. , a significant mechanical strength increase of 5.10% in sample 2 was observed in relation to sample 1, while sample 3 showed a decrease of 62.2% in relation to the concrete sample without addition of RCD. On the other hand, 5.10% and 28.42% increase were recorded for sample 2 and 3, respectively, for the water absorption parameter, an increase of 4.68% and 25.38% of sample 2 and 3, respectively, when compared to the sample without addition of residue, for the vacuum index parameter. However, it was verified that the presence of 6.050% of aluminum (Al) and 18.959% of Iron (Fe) in the composition of the RCD, could observe direct impacts on the property of handle of the concrete. Thus, based on the results presented here, it is possible to notice a significant viability of the concrete with addition of RCD depending on the direction of its applicability.

Keywords: Concrete, Applications of RCD in concrete, Characterization of RCD, Reuse of materials

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Representação do número de golpes do ensaio.....	53
Gráfico 2	- Ilustração da composição química do RCD.....	56
Gráfico 3	- Representação gráfica do ensaio de Slump test.....	57
Gráfico 4	- Comportamento da resistência.....	59
Gráfico 5	- Relação entre fck e controle tecnológico – amostra 1.....	61
Gráfico 6	- Relação entre fck e controle tecnológico – amostra 2.....	62
Gráfico 7	- Relação entre fck e controle tecnológico – amostra 2.....	62
Gráfico 8	- Absorção de água, índice de vazios e massa específica das amostras seca.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Classificação quanto à resistência do concreto	22
Tabela 2	- Tipos de cimento	23
Tabela 3	- Classificação da água	24
Tabela 4	- Especificações da dosagem para moldagem dos corpos de prova	42
Tabela 5	- Quantitativos de CPs a serem desenvolvidos na pesquisa e dosagem de RCD	43
Tabela 6	- Quantitativo em massa dos materiais	44
Tabela 7	- Resultado da caracterização dos materiais da mistura	51
Tabela 8	- Serie de golpes do ensaio de limite de liquidez	53
Tabela 9	- Composição química do RCD empregado.....	55
Tabela 10	- Ensaio de abatimento.....	57
Tabela 11	- Trabalhabilidade no abatimento de tronco de cone.....	58
Tabela 12	- Resistência alcançada das amostras.....	59
Tabela 13	- Massas das amostras de concreto.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Relação a/c com a resistência	25
Figura 2	- Fissuração por erro de cura	27
Figura 3	- Espectrometria de fluorescência de raios X	29
Figura 4	- Fluxograma metodológico da pesquisa	33
Figura 5	- Local destinado ao Aterro controlado da Cidade de Pau dos Ferros – RN	33
Figura 6	- Local do RCD utilizado na pesquisa	34
Figura 7	- Materiais da amostra recolhida de RCD	36
Figura 8	- Amostras para os ensaios de fluorescência de raios X e difração de raios X	37
Figura 9	- Moagem do RCD na máquina Los Angeles	37
Figura 10	- Brita 1	37
Figura 11	- Medição da água	38
Figura 12	- Aditivo plastificante	39
Figura 13	- Limites de Consistência – LP	39
Figura 14	- Ensaio de Limite de Plasticidade	40
Figura 15	- Limites de Consistência – LL	41
Figura 16	- Ensaio de Limite de Liquidez	42
Figura 17	- Acondicionamento dos materiais durante a produção dos CPs.....	45
Figura 18	- Moldes metálicos com aplicação do desmoldante.....	45
Figura 19	- Desmoldagem e cura do concreto.....	46
Figura 20	- Slump test.....	46
Figura 21	- Equipamentos utilizados no Slump test.....	47
Figura 22	- Ensaios de Slump test.....	47
Figura 23	- Ensaio de resistência à compressão.....	48
Figura 24	- Obtenção das massas.....	49
Figura 25	- Resultado do ensaio de limite de plasticidade.....	52
Figura 26	- Fechamento da ranhura antes de 18 golpes.....	53
Figura 27	- Resultado visual do ensaio de Slump test.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi Árido
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
a/c	Água/Cimento
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
Fck	Resistência característica do concreto à compressão/ Feature compression know
RCC	Resíduo de Construção Civil
FRX	Fluorescência de Raios X
AM	Amostra
RN	Rio Grande do Norte
CPs	Corpos de Prova
CP	Cimento Portland
ISSO	International Organization for Standardization/Organização Internacional de Normatização
LP	Limite de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
RS	Resistente a sulfatos
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3.	REFERÊNCIAL TEÓRICO	21
3.1	CONCRETO	21
3.1.1	COMPONENTES DO CONCRETO	22
3.1.1.1	CIMENTO	22
3.1.1.2	AGREGADOS	23
3.1.1.3	ÁGUA	24
3.2	PRODUÇÃO DO CONCRETO	25
3.2.1	MISTURA	25
3.2.2	TRANSPORTE	25
3.2.3	LANÇAMENTO	26
3.2.4	ADENSAMENTO	26
3.2.5	CURA DA MISTURA HIDRATADA	27
3.3	VIABILIDADES DA INCORPORAÇÃO DE RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
3.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA EM RCD	28
3.4.1	ANÁLISE POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)	29
3.5	ÁREAS DE APLICAÇÃO DO CONCRETO COM RCD	29
3.6	ESTADO DA ARTE	30
4.	METODOLOGIA	32
4.1	LOCAL DA PESQUISA	33
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	34
4.2.1	CIMENTO	34
4.2.2	AGREGADO MIÚDO - AREIA	35
4.2.3	AGREGADO MIÚDO – RCD	35
4.2.4	AGREGADO GRAÚDO - BRITA	37
4.2.5	ÁGUA	38
4.2.6	ADITIVO PLASTIFICANTE	38
4.3	ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE	39
4.4	ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ	40

4.5	ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	42
4.6	DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	42
4.6.1	ESCOLHA DO TRAÇO E DOSAGEM	42
4.6.2	QUANTITATIVO DE MATERIAIS	43
4.6.3	PRODUÇÃO DO CONCRETO COM MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA E CURA	44
4.7	ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)	46
4.8	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	48
4.9	ENSAIO DE ABSORÇÃO, POROSIDADE E MASSA ESPECÍFICA	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	52
5.2	ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE	52
5.3	ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ	53
5.4	ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	55
5.5	ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)	57
5.6	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	59
5.7	ENSAIO DE ABSORÇÃO, POROSIDADE E MASSA ESPECÍFICA	64
6.	APLICABILIDADE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL	67
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
8.	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros segmentos da indústria, o ramo da Engenharia Civil é uma importante área que por sua vez, serve de indicativo para averiguar a situação de desenvolvimento econômico e social do nosso país. Todavia, o mesmo representa uma atividade geradora de grandes impactos ambientais devido seu mau gerenciamento e ao intenso consumo de recursos naturais (VIANA e GODINHO, 2015).

Nesta conjuntura, inúmeros estudos foram feitos a cerca da quantidade de resíduos gerados pela construção civil, onde destaca-se no estudo realizado por Pinto (1999), a quantidade de resíduos gerados pela construção civil está na faixa entre 0,23 a 0,66 ton/hab/ano, em média, nas cidades brasileiras. Segundo Marques Neto (2005) esses resíduos estão na fatia entre 51 e 70% da massa dos resíduos sólidos municipais, sendo os principais materiais: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, dentre outros.

Entretanto, quando não se tem uma destinação adequada, os resíduos são lançados ao meio ambiente clandestinamente em terrenos baldios, áreas às margens de rios e córregos, vias, logradouros públicos e qualquer outro local que seja de fácil acesso. Assim, essa destinação inadequada vem produzindo problemas de ordem ambiental e de saúde pública, como também de estética, o que acarreta em uma desvalorização imobiliária do terreno, além de favorecer a proliferação de insetos e de inúmeros vetores de doenças (MARQUES NETO, 2005).

Neste contexto, a incorporação de resíduos da construção civil (RCD) em outra cadeia produtiva, é uma boa alternativa para uma diminuição da utilização e do consumo desordenado dos recursos naturais e conseqüentemente dos impactos causados pelos mesmos, tendo em vista a grande quantidade de resíduos descartados e além desta medida proporcionar um aumento da vida útil dos aterros existentes.

Por sua vez, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 2002) nº 307, Art. 2º Inciso IV, vem definir o agregado reciclável como sendo: “um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras”.

Por fim, sabe-se que nos últimos anos vem ocorrendo um desenvolvimento tecnológico vertiginoso, aumentando significativamente a produção de bens industrializados e o volume de recursos explorados. Atrelado a isso, grande quantidade de resíduo vem sendo produzido, causando muitos problemas. Desta forma, buscar alternativas para destinação

correta dos mesmos apresenta uma grande relevância, haja vista que essa quantidade de resíduo tende a aumentar devido a inúmeros fatores, sejam eles de caráter social ou tecnológico.

Sabe-se que a busca pelo desenvolvimento tecnológico, no âmbito da construção civil, ocorreu juntamente com o do homem com o passar dos anos. Esse avanço sempre foi marcado por obras construtivas grandiosas que impressionam até os dias atuais, devido à utilização de técnicas e tecnologias arcaicas elaboradas com o conhecimento da época. A exemplo disto, as pirâmides do antigo Egito representam obras monumentais que merecem destaque quando se fala em construções de caráter excepcional, no que diz respeito a grandiosidade da obra estrutural e de fundação, permanecendo quase que intactas com o passar dos anos.

Nesta conjuntura, com o passar dos tempos, ocorreu uma evolução no que diz respeito às edificações construídas e seus materiais empregados. Atrelado a isso, a consciência ambiental tomou um lugar de destaque na fase de planejamento das obras, visto que os impactos das edificações começaram a causar danos à natureza de forma irreversível. Desta forma, a busca por materiais recicláveis que pudessem ser incorporados na cadeia produtiva do concreto começou a ganhar força.

Assim, a busca por soluções para essa problemática de viés ambiental e econômico se propagou com o decorrer dos anos, visto o grande volume de resíduo de construção e demolição (RCD) produzido nas obras, diversos estudos se propuseram a averiguar o desempenho e caracterizar este sedimento reciclável incorporado ao concreto.

Na construção civil esta incorporação de RCD é vista como uma proposta inovadora, e já existem algumas formas de emprego deste tipo de concreto atualmente. Contudo, um fator importante como realização de estudos de caracterização dos materiais seja amplamente explorado, e consequentemente entender a microestrutura, as propriedades, o seu desempenho, devido a exigência do mercado, buscando sempre atender as especificações exigidas pelas normas.

Neste contexto, o trabalho buscou analisar a incorporação dos RCDs no concreto, a cerca de suas características físico-químicas e suas aplicabilidades no mercado na área da construção civil.

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos que se pretende atingir com a realização da pesquisa aqui sugerida, de modo geral e específico:

2.1 Objetivo Geral

Análise físico-química do RCD incorporado ao concreto, para avaliação de possíveis aplicações na construção civil.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer a análise físico-química, caracterizada pelas seguintes análises:
 - Físicas:
 - ✓ Limite de Liquidez;
 - ✓ Limite de Plasticidade.
 - Químicas:
 - ✓ Fluorescência de Raios X;
- Estudar as áreas de aplicação do concreto com adição de RCD em porcentagens de 25 e 50% de adição;
- Realizar ensaios mecânicos e comparar os resultados com outros trabalhos da literatura.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

A construção civil origina inúmeros problemas e impactos ambientais, fazendo com que a busca por materiais alternativos com viés econômico acessível, para minimização desta problemática ao meio e que sejam capazes de garantir a longevidade da estrutura, seja cada vez mais intensa. Assim, tendo em vista a grande geração de RCD nas construções, o mesmo se torna uma matéria prima alternativa para incorporação no concreto. Nesta conjuntura, para atingir os objetivos deste trabalho, foi necessário desenvolver a seguinte estrutura de embasamento teórico.

3.1 Concreto

Historicamente, a descoberta do concreto pode ser condicionada a descoberta do agente aglomerante cimentício, sendo o mesmo datado do século II a.C. O primeiro aglomerante conhecido era uma espécie de areia vulcânica chamada de pozolana, encontrada em uma quantidade considerável na região sul da Itália, especificamente na baía de Nápoles, próximo à cidade de Pozzuoli (METHA e MONTEIRO, 1994).

Este material foi bastante utilizado pelos romanos em suas argamassas, dando origem a construções magníficas, onde pode ser citada a mais antiga que se tem notícia, o Pórtico de Amélia que é datado de 193 a.C. Assim, didaticamente, a pozolana pode ser entendida como uma areia com propriedades especiais, que reage quimicamente com a cal e a água, transformando-se em uma pedra artificial que é resistente até mesmo sobre a presença de água. Desta forma, os romanos passaram a utilizar esse material com pedras de diferentes tamanhos, formando um tipo rudimentar de concreto utilizado nas mais variadas construções civis da época (METHA e MONTEIRO, 1994).

Conforme estudo de Ribeiro (2002), o concreto pode ser entendido como uma mistura composta de cimento, agregados e água, podendo ainda ser incorporado algum tipo de aditivo que irá influenciar em seu desempenho. Atrelada a essa definição pode-se conter ainda materiais incorporados ao concreto, visando substituir ou somar parcialmente a quantidade de cimento na composição, sendo este material incorporador denominado de aditivo.

Neste contexto, para Mehta e Monteiro (2008) a grande disponibilidade em diferentes tipos deste material atrelado a sua facilidade de manuseio, baixo custo de mercado e boa resistência mecânica, o tornou um dos materiais mais utilizados pelo homem ao longo dos

anos. Segundo os mesmos, o concreto pode ser dividido em três categorias no que diz respeito a sua resistência a compressão, como mostrado na tabela 1, são elas:

Tabela 1: Classificação quanto à resistência do concreto.

	CONCRETO DE BAIXA RESISTÊNCIA	CONCRETO DE RESISTÊNCIA MODERADA	CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA
RESISTÊNCIA	Menos de 20 MPa	De 20 MPa a 40 MPa	Mais de 40 MPa

*Quanto à empregabilidade o concreto de resistência moderada é destinado à maioria das obras estruturais enquanto o concreto de alta resistência é bastante utilizado para aplicações especiais.

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008).

Logo, a dosagem dos materiais empregada pelos romanos vem representar o que se chama de “traço”, ou seja, é a quantidade de cada material na composição, fator esse que influenciará nas características do material final, onde a quantidade de materiais presente na mistura leva em consideração as necessidades que o mesmo deve desempenhar.

Assim, devido à ampla utilização do concreto na construção civil, e a necessidade de se atingir inúmeras demandas do mercado consumidor, desenvolveram-se ao longo do tempo processos e técnicas produtivas na busca do melhoramento das qualidades e propriedades do mesmo. Nesta perspectiva, segundo Sampaio (2013), a adição de determinados materiais a matriz do concreto apresenta-se como uma alternativa para o melhoramento de suas características e propriedades. Com isso, os diversos estudos que visam à adição de materiais na matriz do concreto sofreram um grande impulso, tendo em vista que esse processo de incorporação pode contribuir para um melhor desempenho do mesmo.

3.1.1 Componentes do Concreto

Pode-se dizer que o concreto é um material composto, constituído, essencialmente, de um aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregados (METHA e MONTEIRO, 1994). Tendo em vista que a pesquisa buscou trabalhar com cimento hidráulico, ou seja, aglomerantes que não só endurecem através de reações com a água, como também formam produtos que resistem à água, faz-se de grande valia entender os materiais que compõem o concreto.

3.1.1.1 Cimento

Criado pelo construtor inglês Joseph Aspdin e patenteado em 1824, o cimento Portland representa hoje um material indispensável na construção civil. Historicamente, devido à grande utilização da pedra de Portland nas construções na Inglaterra, material esse oriundo de uma ilha no sul do país, Aspdin nomeou sua invenção como Cimento Portland devido à semelhança na cor e na dureza da pedra e do produto inventado.

Giamusso (1992) em seus estudos vem propor que o cimento pode ser entendido como um produto constituído principalmente de silicatos (CaSiO_3) e aluminatos de cálcio $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$, que após hidratação (adição de água) funcionam como uma “cola” que liga as partículas de agregados entre si, logo a resistência da pasta, bem como do concreto dependem do tipo de cimento, os quais pode-se classificar segundo a ABCP (2002), como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2: Tipos de cimento.

OS MAIS EMPREGADOS NAS DIVERSAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	CONSUMIDOS EM MENOR ESCALA (CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS)
• Cimento Portland Comum; • Cimento Portland Composto; • Cimento Portland de Alto-forno; • Cimento Portland Pozolânico.	• Cimento Portland de Alta Resistência Inicial; • Cimento Portland Resistente aos Sulfatos; • Cimento Portland Branco; • Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação; • Cimento para Poços Petrolíferos.

*Todavia, cada tipo de cimento citado acima é redigido por uma norma da ABNT.

Fonte: Adaptado de ABCP (2002).

3.1.1.2 Agregados

Para Giamusso (1992), o agregado pode ser entendido como um componente inerte da mistura, tendo como uma de suas funções ser um material de enchimento, sendo constituído por partículas que são cimentadas entre si pela pasta cimentícia resultante do processo de hidratação da mistura água cimento. Corroborando com esta linha de pensamento, Petrucci (1981) define agregado como sendo nada mais que um agregado sem forma nem tão pouco volume estabelecido, tendo características inertes com dimensões e propriedades que se adequam ao uso em obras de engenharia.

Conforme Giamusso 1992, na mistura de concreto o agregado se apresenta na proporção de 60% e 80% do volume total da composição. Sendo estes agregados subdivididos em agregados graúdos e miúdos, sendo esta classificação definida de acordo com o tamanho das partículas, definidas por aberturas de malhas de peneiras, ou seja, os agregados denominados graúdos são aqueles retidos na peneira de malha quadrada com aberturas igual a

4,8 mm e os agregados miúdos são aqueles que passam por esta peneira e ficam retidos na peneira 0,075 mm.

Normativamente, a ABNT NBR 7211:2009 estabeleceu as características necessárias para recepção e produção de agregados, sejam eles de origem natural, resultantes de britagem de rochas ou encontrados já fragmentados.

Quanto a influencia dos agregados sobre as características do concreto, Sampaio (2013) e Segre (1999) apontam em seus respectivos estudos que a quantidade de brita e areia são fatores que resultam em diferentes trabalhabilidade e resistências. No que diz respeito às características que a brita pode proporcionar, destaca-se o aumento da resistência, já a areia tem influência direta no aumento da trabalhabilidade, vindo a diminuir a porosidade.

3.1.1.3 Água

Outro componente da mistura composta do concreto é a água, que deve ser regrada minuciosamente e escolhida segundo alguns parâmetros. Conforme Metha e Monteiro (1994) pode-se classificar a água presente na pasta de cimento hidratado conforme o grau de dificuldades ou facilidade com que pode ser removida. Na Tabela 3, pode-se averiguar esta classificação em ordem crescente (cima para baixo) de dificuldades de remoção deste fluido.

Tabela 3: Classificação da água.

TIPO DE ÁGUA	CARACTERÍSTICAS
Água capilar ou água livre	Presente nos vazios maiores.
Água adsorvida	Se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratado.
Água Inter lamelar	Associada com a estrutura do C-S-H.
Água quimicamente combinada	Aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.

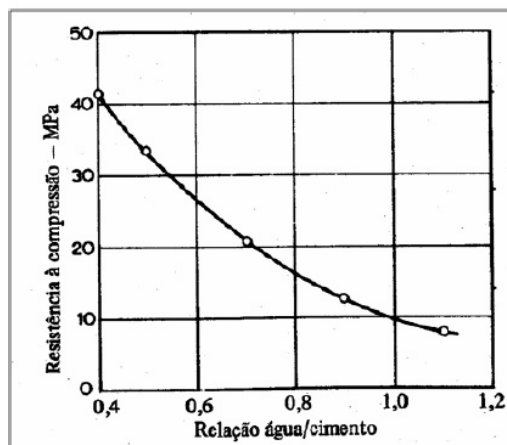
Fonte: Adaptado de Metha e Monteiro (1994).

Outro parâmetro de suma importância na produção do concreto para determinação da sua resistência final é a razão entre a quantidade de água acrescida e a quantidade de cimento utilizado. Para Neville (1997), através da relação água/cimento (a/c), algumas características podem ser estabelecidas, como a porosidade da pasta cimentante endurecida em qualquer estágio de hidratação, influenciando diretamente no grau de adensamento.

Buscando entender melhor a relação a/c, em 1919 Abrams publicou um trabalho demonstrando que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta na fase

endurecida, onde estas eram em função direta do fator a/c da composição da mistura cimentante, assim como podemos averiguar na Figura 1.

Figura 1: Relação a/c com a resistência.



Fonte: Branco e Pieretti (2012)

3.2 Produção do Concreto

Sabe-se que o concreto é um produto extremamente versátil, podendo ser incorporado em sua matriz cimentícia agregados de diferentes origens, entretanto, faz-se de suma importância avaliar as alterações de suas propriedades com a adição dos mesmos. Neste contexto, entender como se dá a produção do concreto é de grande valia, tendo em vista a finalidade da pesquisa.

3.2.1 Etapa de Mistura

A mistura no processo de preparação do concreto pode ser classificada em dois tipos a depender da presença de maquinário utilizado, sendo eles: preparo manual e preparo mecânico. Todavia, a mistura deve ser entendida como a operação de fabricação do material cimentante hidratado, tendo como resultado parcial uma massa de caráter homogêneo, moldada a partir do agrupamento interno dos agregados, aditivos, aglomerantes, aditivos e água (BAUER, 2000).

3.2.2 Transporte

Conforme, Bauer (2000), o sistema de transporte do concreto deve ser algo levado em consideração pelo encarregado na obra para evitar problemas como, por exemplo, decantação do agregado. Todavia, esse sistema transporte (desde o equipamento utilizado na fabricação

ao local de destinação) vem a depender essencialmente do tipo de concreto, da localização e volume da obra. Este parâmetro é de suma importância numa construção, tendo em vista que muitas das vezes, a trabalhabilidade depende diretamente deste transporte empregado.

Normativamente, NBR 14932/2004 vem a aconselhar que sempre que possível, o sistema de transporte, permita o lançamento direto do concreto nas fôrmas, dispensando o uso de recipientes intermediários sempre que possível, todavia, quando estes forem necessários para o manuseio do concreto algumas precauções devem ser tomadas para evitar a segregação do material.

3.2.3 Lançamento

Algumas recomendações são de grande valia no que diz respeito ao lançamento do concreto hidratado, todavia, a NBR 14931 (ABNT, 2004) traz algumas delas. Dentre as recomendações mais importantes, pode-se destacar a informação que em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do material cimentante após o início da pega, sendo o correto a execução do mesmo logo após a mistura.

3.2.4 Adensamento

Conforme estudos de Metha e Monteiro (1994), a fase de adensamento pode ser entendida como um processo de moldagem do material cimentante hidratado em fôrmas, tendo como finalidade eliminar bolsões de ar retido, bem como os espaços vazios no material. Desta maneira, este processo pode vir a ser realizado de duas maneiras distintas, citadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Tipos de adensamento.

ADENSAMENTO MANUAL	ADENSAMENTO MECÂNICO
Realizado através de socamento de haste.	Realizado por meio de vibradores, placas mecânicas, compactadores à percussão, dentre outros.

Fonte: Adaptado de Metha e Monteiro (1994).

Para normatizar esta fase da produção do concreto, a norma NBR 14931/2004 traz inúmeras especificações para realizar de forma correta o adensamento do concreto. A mesma vem propor que durante este procedimento deve-se ter cuidados para que não se venha formar

ninhos ou ocorra a segregação dos materiais constituintes. Todavia, deve-se evitar o contato com a armadura metálica para a não formação de vazios ou seu redor, buscando-se assim, a melhor aderência do material cimentante com a estrutura de metal.

3.2.5 Cura da Mistura Hidratada

A fase de cura da mistura hidratada tem por finalidade evitar a perda de umidade e controlar rigorosamente a temperatura para que assim, possa-se atingir um nível de resistência estabelecido inicialmente (METHA e MONTEIRO, 1994). Ou seja, segundo Neville 1997, o processo de cura pode ser definido como os procedimentos que se recorrem para se obter a hidratação do cimento, consistindo basicamente, no controle de temperatura e saída e entrada de umidade da mistura cimentante.

Desta forma, esta etapa da produção do concreto, deve ser entendida como uma das fases mais importantes deste processo, pois nela evita-se a evaporação prematura de água e fissuração do concreto, tendo em vista que, depois de lançar e adensar, o concreto desenvolve resistência ao longo de sua vida útil, e a água no seu interior deve ser evaporada gradativamente. Para isso, o processo de cura pode ser realizado através da aspersão de água sobre a superfície do concreto, molhagem de fôrmas, cura a vapor, dentre inúmeros outros métodos. Todavia, segundo Giammusso (1992), quando o processo de cura ocorre corretamente, o aparecimento de poros e fissuras, como mostrado na Figura 2, tende a diminuir e a resistência aumentar.

Figura 2: Fissuração por erro de cura.



Fonte: NOAL (2016).

3.3 Viabilidades da Incorporação de RCD na Construção Civil

Tendo em vista a localização, os Resíduos de Construção Civil são conhecidos por diferentes nomes, como por exemplo, Entulho, RCD, RCC e mais comumente de Resíduos de

Construção.

Por sua vez, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Nº 307, de cinco de julho de 2002, os RCDs são materiais provenientes de construção, reforma, reparo e demolição de obras de construção civil, e ainda dos restos resultantes do preparo e da escavação do terreno (tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, dentre outros.). Desta maneira, o CONAMA classifica os resíduos da seguinte forma:

- Classe A: os resíduos dessa classe são caracterizados por serem reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, demolição ou reforma de pavimentos;
- Classe B: classe caracterizada por resíduos recicláveis para outras destinações, como: plástico, papel, metais e madeiras;
- Classe C: classe característica pela presença de resíduos que cuja reciclagem/recuperação não foram desenvolvidas tecnologias economicamente viáveis, onde a exemplo disto, tem-se o gesso;
- Classe D: classe caracterizada por resíduos perigosos, como tintas e óleos, e produtos oriundos de obras em clínicas radiológicas, dentre outros.

Se analisarmos o produto proveniente da reciclagem perceberemos que o processo da reciclagem acarreta grandes impactos para meio ambiente, tendo em vista que para que tenhamos um produto que possa reingressar na cadeia produtiva, faz necessário energia para transformar este material. Neste contexto, a energia inserida estará associada à aplicação final do produto, estando relacionado intimamente aos processos de transformação utilizados.

Contudo, deve-se levar em consideração que existe outros problemas ambientais relacionados à incorporação destes sedimentos em uma outra cadeia de produção, sendo a utilização de matérias primas para modificação física/química, uma delas (ÂNGULO, 2000).

Nesta conjuntura, o agregado de construção civil pode ser utilizado em substituição aos agregados naturais ou britados, todavia, a caracterização prévia do sedimento reciclado dever feita, bem como as propriedades divergentes do agregado natural e o RCD devem ser analisadas e corrigidas quando necessário, tornando o produto final o mais próximo dos consagrados na indústria de construção (TANAKA e PINTO, 2011).

3.4 Caracterização Físico-Química em RCD

Na realização do controle do processamento da qualidade do produto cerâmico final, bem como suas propriedades faz-se de alta relevância, segundo Acchar (2006) que ocorra a caracterização, os testes e as análises no material cerâmico. Neste contexto, a análise por

espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) é um dos métodos de análises mais comumente realizado em materiais cristalinos, sendo seu uso não indicado para materiais semicristalinos por não conseguir identificar fases amorfas.

Nesta conjectura, Acchar (2006), vem enfatizar que a análise térmica do material é outro parâmetro muito utilizado para caracterizar o material cristalino, sendo a análise por espectrometria de fluorescência de raios X uma das técnicas bastante eficiente para verificação deste parâmetro, tendo em vista que, através do mesmo é possível averiguar-se informações essenciais sobre o comportamento do material durante sua evolução térmica.

3.4.1 Análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX)

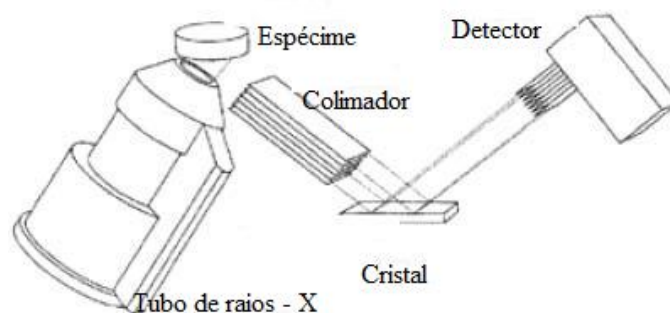
Em suma, a análise por espectrometria de fluorescência de raios X consiste basicamente no resultado da absorção fotoelétrica. Assim, esse procedimento submete o material, seja ele cristalino ou não, a um feixe incidente de raios X policromático com energia conhecida. Posteriormente, são emitidos raios X secundários, sendo estes característicos das espécies químicas, fator esse que vem a ser preponderante para que estas espécies venham a ser identificadas e quantificadas suas respectivas concentrações (ACCHAR, 2006).

Neste contexto, o entendimento da equação de Bragg¹ se faz de suma importância, pois a mesma serve como referência para interpretação dos espectrogramas de fluorescência de raios X, por mais que as mudanças que as variações que compõe a equação tenham neste caso significado diferente do ensaio de difração (ACCHAR, 2006).

Assim, os ensaios de fluorescência de raios X têm como principal objetivo vir a fornecer explicações (quantitativas e qualitativas), sobretudo, da composição de um determinado material (ACCHAR, 2006). Na Figura 3 pôde-se constatar o equipamento e o procedimento de análise por espectrometria de fluorescência de raios X.

¹ Conhecida também como Lei de Bragg, esta vem a relacionar o ângulo da radiação incidente, a distância entre planos num cristal, e o comprimento de onda da radiação incidente.

Figura 3: Espectrometria de fluorescência de raios X.



Fonte: Adaptado de Trindade (2016).

3.5 Áreas de Aplicação do Concreto com RCD

Sabe-se que existem inúmeras formas de reaproveitar os materiais provenientes dos entulhos de construções civis, desde seu nível em sua forma bruta, seja para regularização de terrenos, para utilização como elemento de suporte para base e sub-base em vias, como elemento na confecção do concreto para revestimento, em blocos de concreto, em pavers, em pavimentos de concreto, por exemplo, (PANDOLFI, 2016).

Inúmeros estudos estão sendo desenvolvidos no que diz respeito a utilização do RCD como agregado reciclado, tendo uma difícil viabilidade de empregabilidade no Brasil, tendo em vista o pouco gerenciamento desses materiais, uma vez que a qualidade para o emprego deste agregado reciclado na pavimentação, por exemplo, é muito importante (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Em seus estudos, Lima (1999) afirma que o uso de RCD reciclado incorporado a pavimentos é onde se obtém os melhores resultados, vindo a superar inclusive os pavimentos com agregado convencional. Tseng (2010) vem afirmar também que a confecção de pavimentos de concretos com o uso de agregado reciclado tem bons resultados.

Por sua vez, Corinaldesi e Moriconi (2009) vêm propor que a utilização de agregados provenientes de RCD é algo viável para argamassas de assentamento não apenas pela questão ambiental, mais, sobretudo por melhorar a interface argamassa-bloco, que costuma ser o elo frágil da estrutura produzida.

Por fim, segundo Canedo, Brandão e Peixoto Filho (2011) o traço de argamassa alcançado com o uso de RCD em sua composição obteve resultados positivos com relação ao ensaio de aderência a tração, sendo esta de ótimo uso como argamassa para revestimento.

3.6 Estado da Arte

Através de seus estudos, Nogueira (2013) veio a afirmar que o uso de sedimentos reciclados para fabricação de concretos é extremamente viável, tendo em vista as propriedades mecânicas desempenhadas quando incorporado o RCD no processo fabril. Contudo, averiguar para o abatimento do concreto é de suma importância para se ter um produto final de qualidade.

Segundo Pandolfi (2016), em seus trabalhos de análise de corpos de prova de concreto usando RCD, veio a constatar através do ensaio de compressão e de tração por flexão que os melhores resultados se deram com 5% de substituição do agregado natural pelo agregado graúdo reciclável, quando se comparava com o concreto de referência. Sendo isso causado pela hidratação retardada do cimento pela água contida nos poros do RCD, o que veio a melhorar sua resistência.

Canedo, Brandão e Peixoto Filho (2011), vêm destacar que o revestimento com argamassas usando resíduos recicláveis de construção civil tem resultados semelhantes à argamassa tradicional. Além de, esse sistema de reaproveitamento dos RCDs se mostrar viável tecnicamente nas obras atuais, tem um impacto financeiro e ambiental positivo, tornando-se um produto atrativo para inovação na construção civil.

No que diz respeito à dosagem dos agregados recicláveis, os mesmos vêm apresentar o comportamento estabelecido pela Lei de Abrams, ou seja, quanto maior a relação água/cimento, conseqüentemente, a resistência do concreto será menor. Assim, quando se vem incorporar estes agregados nas dosagens, a relação água/cimento e o teor de substituição dos agregados, deve-se proporcionar uma influência direta na porosidade da matriz, bem como na zona de transição (VIANA e GODINHO, 2015).

Por fim, Zucca (2018), vem a consolidar em suas pesquisas que a prática de reutilização de Resíduos de Construção Civil (RCC) é uma medida extremamente viável do ponto de vista ambiental, tendo em vista que através desta técnica ocorre a diminuição da quantidade de resíduos que são acumulados em aterros irregulares, margens de rios, estradas vicinais, dentre outros inúmeros locais. Por outro lado, constatou-se ainda, que a aplicação do RCC em construções rurais é uma solução de baixo custo, sendo tecnicamente recomendada em blocos de alvenaria de vedação.

4 METODOLOGIA

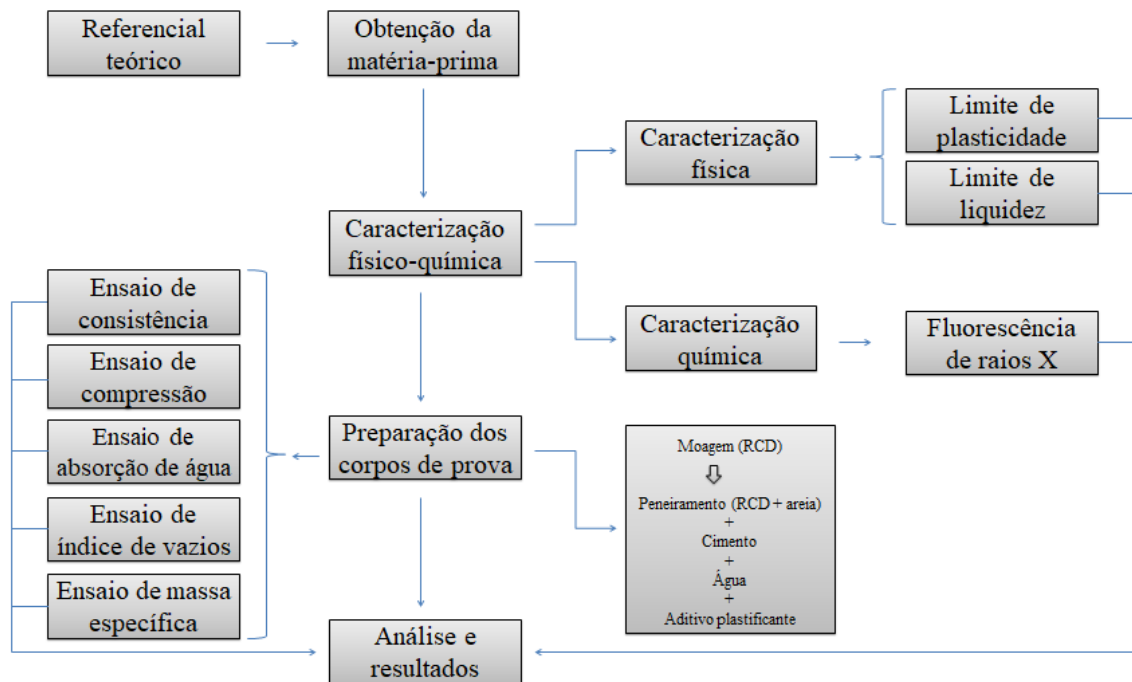
Este tópico será destinado à abordagem detalhada de todos os processos utilizados no manuseio dos materiais, assim como todas as normatizações e concepções tomadas ao proceder da pesquisa, visando através disto, promover a confiabilidade e precisão dos resultados, além de atingir os objetivos traçados no tópico 2.

Todavia, no que diz respeito à classificação da pesquisa, pode-se dizer que a mesma se enquadra em uma pesquisa de caráter qualitativo, onde segundo Goldenberg (1997, p. 34) “a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização”. Mas também quantitativo, onde segundo Günther (2006, p.203) “No caso da pesquisa quantitativa, uma amostra representativa asseguraria a possibilidade de uma generalização dos resultados”.

Como o objetivo principal foi a análise físico-química do RCD incorporado a matriz do concreto, para avaliação de possíveis aplicações, Procedeu-se inicialmente com uma caracterização físico-química dos materiais que serão utilizados para confecção dos corpos de provas.

Posteriormente, foram confeccionados os concretos e submetidos os mesmos ao tempo de cura normatizado até a data do ensaio de resistência a compressão, sendo realizado paralelamente a essa fase o ensaio de abatimento de troco de cone, a fim de avaliar a fluidez e trabalhabilidade. Por fim, também foram realizados os ensaios de avaliação de absorção de água, índices de vazios, massa específica e resistência à compressão, visando entender as características físicas do material. A seguir, a Figura 4 mostra um resumo da metodologia empregada.

Figura 4: Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autoria Própria.

4.1 Local da Pesquisa

Na fase de obtenção da matéria-prima, foi-se até a coleta dela foi na área destinada a construção do aterro controlado da Cidade de Pau dos Ferros – RN (Figura 5-B) e acondicionou-se em sacolas plásticas cerca de 20 kg de RCD, proveniente de construções da cidade para o processo de análise.

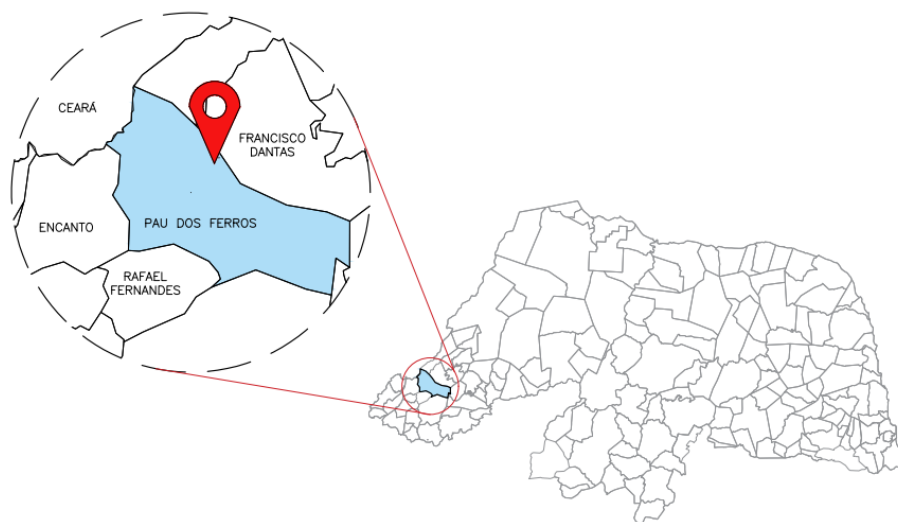
Na Figura 6, pode-se averiguar a localização da amostra utilizada na pesquisa, onde a mesma foi feita com o auxílio do software AutoCAD, versão 2019.

Figura 5: Local destinado ao Aterro controlado da Cidade de Pau dos Ferros – RN.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 6: Local do RCD utilizado na pesquisa.



Fonte: Autoria Própria.

A execução da moagem do RCD, caracterização dos materiais e confecção dos corpos de prova, bem como a realização dos ensaios de Limite de plasticidade, Consistência, Resistência à compressão, Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica, foram realizadas no laboratório de Engenharia Civil da Ufersa – Campus Pau dos Ferros. Por sua vez, o ensaio de Limite de Liquidez foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos da Ufersa – Campus Sede Mossoró. Já as análises de Fluorescência de Raios X e Difração de Raios X foram realizadas no laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

4.2 Caracterização dos Materiais

Haja vista a importância da caracterização dos materiais empregados na pesquisa, tendo em vista que através desta etapa pode-se entender melhor as características e propriedades do produto final fabricado, procedeu-se nesta etapa uma descrição minuciosa de cada material empregado. Além disso, buscou-se um aprofundamento de conhecimento em normas técnicas referentes a essa etapa, visando garantir uma confiabilidade, bem como uma aceitabilidade da pesquisa proposta.

4.2.1 Cimento

Para realização dos ensaios de Consistência, Resistência à compressão, Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica foi utilizado na matriz do concreto o Cimento CP IV – 32 RS, por ser empregado em diversos tipos de obras da engenharia e pela perspectiva de

em trabalhos futuros, buscar-se analisar a resistência do concreto produzido a ambientes agressivos.

Segundo Org (2010) e Sampaio (2013), o cimento em sua essência é caracterizado por ser um material ligante, unindo os materiais formando uma pasta, e o CP IV – 32 RS mais especificamente, é um tipo de cimento com características pozolânicas, acrescidas de um alto calor de hidratação e alta resistência a ambientes agressivos, em especial a presença de sulfatos. Sendo este, bastante recomendado para fins como: argamassas de assentamento e revestimento, solo-cimento, concreto magro, concreto armado e concreto para pavimentos.

No que diz respeito à massa específica e unitária utilizada no cálculo do traço da mistura cimentícia, a mesma foi fornecida pelo fabricante, sendo informado na embalagem do cimento adquirido na cidade de Pau dos Ferros - RN.

4.2.2 Agregado Miúdo – Areia

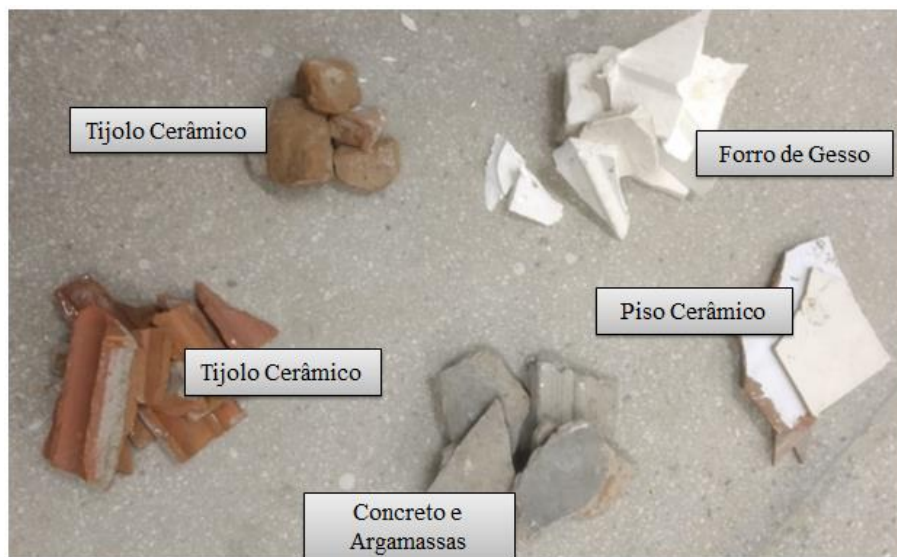
O material foi adquirido em uma loja de materiais de construção da cidade de Pau dos Ferros – RN, e seu acondicionamento foi feito em baldes plásticos durante o proceder da pesquisa. A cerca da caracterização física do material, buscou na literatura a específica e unitária aproximada da areia grossa (tipo de areia indicada para produção de concreto), classe essa da areia informada pela loja vendedora.

Todavia, fizeram-se as verificações propostas pela ABNT NBR 7211:2009, como proposto no tópico 3.1.1.2.

4.2.3 Agregado Miúdo – RCD

De acordo como a classificação do CONAMA, proposta aqui no tópico 3.3, o resíduo empregado na pesquisa pertence à Classe A, por possuir, em suma, a característica de ser incorporada a matriz do concreto, sendo assim, reaproveitado. Todavia, para uma melhor descrição do RCD coletado, foi-se feita uma avaliação visual dos materiais, verificando-se assim, que a maior parte continha fragmentos de alvenaria de tijolo cerâmico, argamassa, pedaços de concreto, gesso e piso cerâmico, conforme mostra a Figura 07.

Figura 7: Materiais da amostra recolhida de RCD.



Fonte: Autoria Própria.

Nesta etapa da pesquisa tomou-se como base a ABNT NBR 7211:2009 - Agregados de Concreto, que informa a necessidade de certa variabilidade na composição granulométrica da matriz do concreto. Todavia, a mesma vem a especificar que o agregado miúdo nada mais é que os grãos que passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam acumulados na peneira com abertura de 150 μ m, já os agregados graúdos, são aqueles que passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam acumulados na peneira com abertura de 4,75 mm, sendo ambos os ensaios do proceder do peneiramento para classificação dos agregados regidos de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

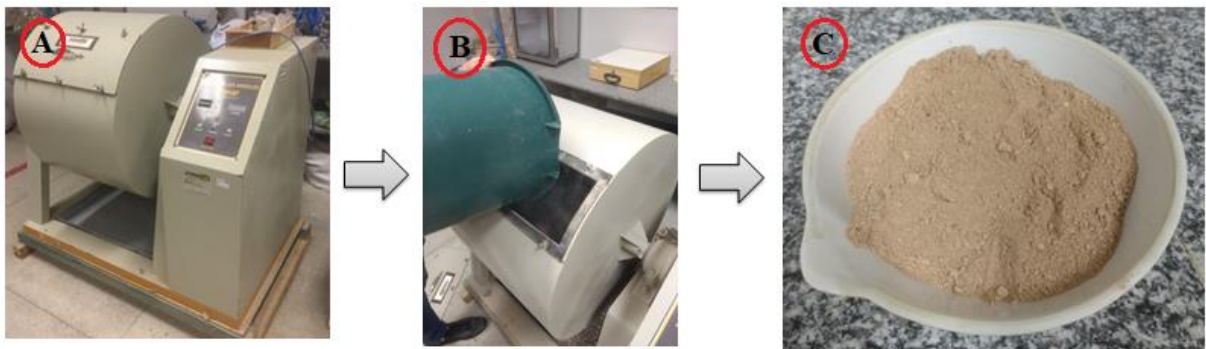
Deste modo, como a proposta do estudo foi incorporar o RCD na compensação de uma parcela da areia, realizou-se moagem dos materiais no equipamento de abrasão STMH-3 Los Angeles, sendo o mesmo programado para 1000 voltas. Ao termino da moagem foi realizado o peneiramento regido pela ABNT NBR NM 248:2003 e recolhida 3 amostras de 2 g cada do material (Figura 8) para realização dos ensaios de fluorescência de raios X e difração de raios X, sendo o produto final deste processo um material extremamente fino, como mostrado na Figura 9-C a seguir.

Figura 8: Amostras para os ensaios de fluorescência de raios X.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 9: Moagem do RCD na máquina Los Angeles.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.4 Agregado Graúdo – Brita

O agregado graúdo utilizado para o ganho de resistência do concreto foi a brita 1 (com dimensões de 9,5 mm a 19 mm), classificada e adquirida em uma loja de materiais de construções na cidade de Pau dos Ferros – RN. Com relação à massa específica e unitária do material, buscou-se na literatura estas informações. Na Figura 10, pode-se averiguar a brita utilizada.

Figura 10: Brita 1.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.5 Água

A água utilizada para mistura cimentícia para confecção dos corpos de prova e do ensaio de consistência foi concedida pela concessionária local de abastecimento público da cidade de Pau dos Ferros – RN, sendo a mesma coletada no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA/Campus Pau dos Ferros e medida através de provetas e béquer, sendo as provetas de 500 ml e 250 ml e o béquer de 80 ml, como mostrado na Figura 11.

Figura 11: Medição da água.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.6 Aditivo Plastificante

Conforme IBI (2018), os aditivos são produtos químicos, incorporados a matriz do concreto durante ou antes a mistura, visando melhoras suas características no estado fresco e endurecido. Corroborando com IBI (2018), a NBR 11768 (ABNT 2011) define aditivo como sendo um produto adicionado durante a fabricação do concreto, em quantidade não maior que

5% da massa de material cimentício contida na mistura, objetivando modificações nas propriedades do estado fresco e/ou estado endurecido. Neste contexto, visando uma melhor trabalhabilidade do concreto, utilizou-se 2% de aditivo plastificante (Figura 12) da massa de cimento utilizado, utilizando o béquer como material de medida deste fluido.

Figura 12: Aditivo plastificante.



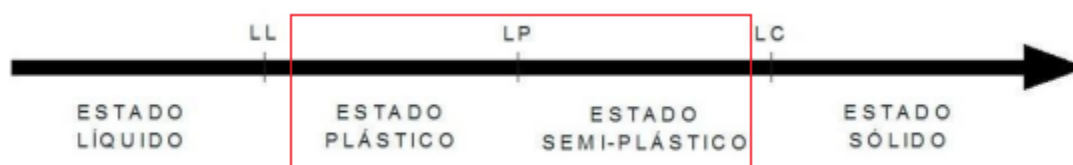
Fonte: Autoria Própria.

4.3 Ensaio de Limite de Plasticidade

No ano de 1911 foi proposto pelo então cientista de nacionalidade sueca Albert Mauritz Atterberg (19 de março de 1846 - 4 de abril de 1916) certos parâmetros/limites que propunham delimitar o intervalo de consistência do solo, denominados pelo mesmo como Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

Conforme Lagetec (2017), o Limite de Plasticidade pode ser entendido como o menor teor de umidade com o qual se molda um cilindro de espessura de 3 mm de diâmetro, ou seja, é o estágio no qual o solo passa do seu estado plástico para o estado semi-plástico (Figura 13), perdendo a capacidade de ser moldado e passa a se apresentar quebradiço. Por outro lado, o Limite de Plasticidade é um parâmetro presente no cálculo do Índice de Plasticidade do material estudado.

Figura 13: Limites de Consistência – LP.



Fonte: Adaptado de Lagetec, 2017.

Neste contexto, a fim de averiguar este parâmetro sobre o RCD empregado na pesquisa para caracteriza-lo melhor e entender as influências de suas propriedades frente a

matriz do concreto nos próximos ensaios, procedeu-se com esse ensaio que é regido pela ABNT NBR 7180:2016 que propõe que o ensaio deve ser executado em condições ambientes para minimizar a perda de umidade por evaporação.

Deste modo, a amostra foi preparada conforme as especificações da ABNT NBR 6457:2016 que dispõe de medidas acerca da preparação de amostras para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. A posterior colocou-se a amostra de RCD no recipiente de porcelana revolvendo-o vigorosamente com o auxílio da espátula até que se obteve uma pasta homogênea de característica plástica.

Em seguida coletou-se 10 g da massa preparada em forma de bola e sobre a placa de vidro esmerilhada a mesma foi rolada com pressão suficiente até se atingir a forma do gabarito cilíndrico, sendo este procedimento repetido 3 vezes como rege a ABNT NBR 7180:2016 a fim de se obter três valores de umidade e caso não se obtenha o cilindro de 3 mm, o material não apresenta limite de plasticidade. Logo após, as amostras foram armazenadas em recipientes metálicos, pesados e postos para secagem na estufa a uma temperatura de 105°C à 110°C. Depois de 24 h, com a utilização de luvas, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas.

Para a determinação das umidades, utilizou-se da Equação (2) a seguir,

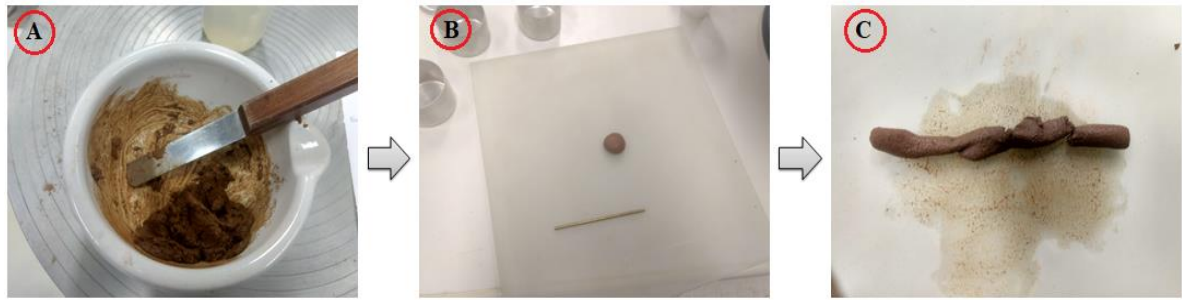
$$W (\%) = \frac{(P1-P2)}{(P2-t)} \times 100 \quad (2)$$

Onde,

- W (%): teor de umidade em porcentagem;
- P1: peso do solo úmido mais a massa do recipiente metálico, em gramas;
- P2: peso do solo seco mais a massa do recipiente metálico, em gramas;
- t: tara do recipiente (peso do recipiente metálico com tampa), em gramas.

Por fim, o Limite de Plasticidade será a média dos valores que não diferirem de 5% desta média, como proposto pela ABNT NBR 7180:2016. Na Figura 14-C pode-se averiguar a fragmentação da amostra e um breve esboço deste ensaio.

Figura 14: Ensaio de Limite de Plasticidade.

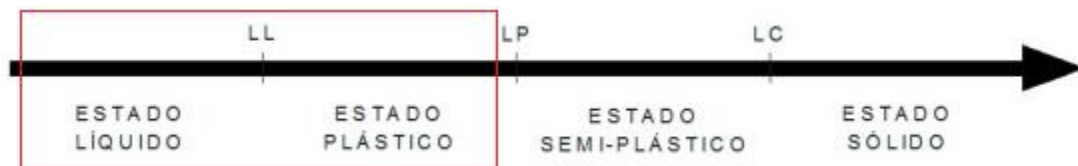


Fonte: Autoria própria.

4.4 Ensaio de Limite de Liquidez

Outro parâmetro proposto por Atterberg para determinar a características acerca da consistência do solo, o Limite de Liquidez, segundo Lagetec (2017), é definido como sendo teor de umidade no solo com que se agrupam, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura demarcada na massa de solo desposta numa concha normatizada (Aparelho de Casagrande) sobre a ação de 25 golpes consecutivos da concha sobre a base desse aparelho. Assim, a realização do ensaio consiste em determinar a transição do estado plástico ao estado líquido, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Limites de Consistência – LL.



Fonte: Adaptado de Lagetec, 2017.

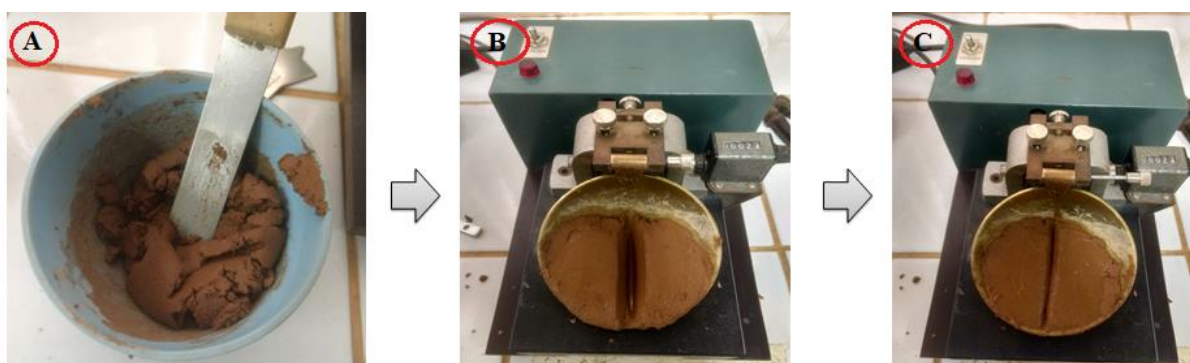
Assim como o ensaio de Limite de Plasticidade propõe que o experimento laboratorial deve ser executado em condições ambientes para minimizar a perda de umidade por evaporação e que a amostra deve ser preparada conforme as especificações da ABNT NBR 6457:2016, o ensaio de Limite de Liquidez proposto pela ABNT NBR 6459:2017 deve obedecer a esses mesmos critérios.

Inicialmente foi colocado o RCD no cadinho de porcelana e acrescentado água destilada até a massa ficar com características plásticas, sendo a mesma transferida para concha do aparelho de Casagrande e moldada de modo que a parte central da concha apresente uma espessura de aproximadamente 1cm. Posteriormente, dividiu-se a massa do solo em duas partes com o auxílio do cinzel, abrindo-se assim, uma ranhura no centro, perpendicular à articulação da concha. Logo após, girou-se a manivela procedendo com o golpeamento da concha na base do aparelho (duas voltas por segundo) até que as bordas

inferiores da ranhura se unissem, sendo por fim, registrado o número de golpes. Sequencialmente, foi-se coletado um pedaço do material plástico do trecho unido, pesado e colocado na estufa, a fim de se proceder com a avaliação da umidade. Repetiu-se o procedimento anteriormente citado por mais 4 vezes.

O cálculo empregado para se descobrir a umidade do solo foi o mesmo adotado para o ensaio de Limite de plasticidade. Todavia, foi-se construído um gráfico, com o eixo de ordenadas em escala aritmética, representando os teores de umidade e no eixo das abscissas, empregou-se a escala logarítmica, representando o número de golpes. Desta maneira, foi traçado uma reta nos pontos de intercessão e obteve-se o valor em porcentagem do Limite de Liquidez do RCD no ponto de 25 golpes, como proposto pela ABNT NBR 6459:2017. Na Figura 16-C é mostrado o fechamento da ranhura.

Figura 16: Ensaio de Limite de Liquidez.



Fonte: Autoria própria.

4.5 Ensaio de Fluorescência de Raios X

Essa técnica não destrutiva foi empregada na pesquisa visando à identificação dos elementos presentes no RCD. Por outro lado, o mesmo vem a estabelecer a proporção/concentração em que cada elemento está presente na amostra estudada.

Todavia, o ensaio aqui mencionado foi realizado através do equipamento da marca Shimadzu - EDX 720 de propriedade do Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

4.6 Dosagem e Produção dos Corpos de Prova

Para entender melhor as propriedades do concreto proposto com a incorporação de RCD, foram construídos corpos de provas para realização dos ensaios de avaliação de absorção de água, índices de vazios, massa específica e resistência à compressão, visando entender as características físicas do material produzido. Todavia, este tópico fica destinado

aos procedimentos metodológicos para dosagem e produção dos CPs.

4.6.1 Escolha do Traço e Dosagem

Com o intuito de se comparar resultados com outras bibliografias que fizeram uso da incorporação do RCD na matriz do concreto, utilizou-se o traço em volume 1:2:3, sendo definido para esta pesquisa que o concreto apresentaria um F_{ck} de 12 MPa. A Tabela 4 mostra as especificações da dosagem utilizada na pesquisa.

Tabela 4: Especificações da dosagem para moldagem dos corpos de prova.

PROPORÇÃO DO TRAÇO UTILIZADO				
MATERIAIS	CIMENTO	AREIA	BRITA	a/c
TRAÇO EM VOLUME	1	2	3	0,51
TRAÇO EM MASSA	1	1,82	2,6	0,51

Fonte: Autoria Própria.

Todavia, buscando comparar os resultados da adição do RCD, utilizou-se um traço referencia de 0% de adição em relação à massa de agregado miúdo – areia, outro com 25% e outro grupo com 50%, sendo esta porcentagem escolhida para viabilizar a comparação de resultados com outros trabalhos, além de tentar entender a influência do resíduo com o aumento de sua quantidade. Por outro lado, vale salientar que o traço escolhido para dosagem dos CPs seguiu dados obtidos na etapa de caracterização dos materiais.

4.6.2 Quantitativo de Materiais

Tendo em vista a quantidade de ensaios a ser realizado, para se saber a quantidade de materiais a serem utilizados faz-se necessário definir o número de corpos de provas e a quantidade de ensaios de consistência a serem realizados na pesquisa, haja vista que esses são os ensaios que demandam a maior quantidade de materiais. Assim, na Tabela 5 é mostrado um resumo das amostras (AM) de CPs a serem fabricados, bem como algumas informações da dosagem do RCD sobre a massa de cimento.

Tabela 5: Quantitativos de CPs a serem desenvolvidos na pesquisa e dosagem de RCD.

Amost.	Nº CPs	Cimento	Areia	Brita	Aditivo Plastificante	RCD	a/c
1	6	1	2	3	2% da quantidade de cimento	0%	0,5
2	6	1	75% da quantidade calculada para o traço	3	2% da quantidade de cimento	25% restante da quantidade de areia calculada para o traço	0,5
3	6	1	50% da quantidade calculada para o traço	3	2% da quantidade de cimento	50% restante da quantidade de areia calculada para o traço	0,5

Fonte: Autoria Propria.

Diante do quantitativo de corpos de provas a serem moldados e da realização de 3 ensaios de consistência do concreto, foi possível estimar o volume de concreto necessário. Tendo em vista que o corpo de prova utilizado demanda um volume de $0,00157 \text{ m}^3$ de concreto, sendo realizado a confecção de 18 CPs, e que o equipamento do *Slump test* demanda um valor de aproximadamente $0,005495 \text{ m}^3$ de concreto, sendo feitos 3 ensaios, foram necessários ao todo um volume de $0,044745 \text{ m}^3$ de concreto.

Por outro lado, a fim de evitar imprevistos, majorou-se a quantidade de materiais a serem utilizados em 10%, visando à correção de possíveis erros durante o processo de moldagem dos CPs. A Tabela 6 demonstrou os quantitativos de materiais empregados com o acréscimo de 10%, como citado anteriormente.

Tabela 6: Quantitativo em massa dos materiais.

MATERIAIS	CIMENTO (Kg)	AREIA (Kg)	BRITA (Kg)	RCD (Kg)	ÁGUA (ml)
QUANT. UNITÁRIA (CPs)	AM 1: 0,700 AM 2: 0,700 AM 3: 0,700	AM 1: 1,300 AM 2: 0,975 AM 3: 0,650	AM 1: 1,800 AM 1: 1,800 AM 1: 1,800	AM 1: 0,000 AM 2: 0,325 AM 3: 0,650	AM 1: 0,350 AM 2: 0,350 AM 3: 0,350
QUANT. TOTAL (CPs)	12,600	17,550	32,400	5,850	6,300
QUANT. UNITÁRIA (SLUMP TEST)	AM 1: 2,450 AM 2: 2,450 AM 3: 2,450	AM 1: 4,550 AM 2: 3,415 AM 3: 2,275	AM 1: 6,300 AM 2: 6,300 AM 3: 6,300	AM 1: 0,000 AM 2: 1,137 AM 3: 2,275	AM 1: 1,225 AM 2: 1,225 AM 3: 1,225
QUANT. TOTAL (SLUMP TEST)	7,350	11,238	18,900	3,412	3,675
QUANT. TOTAL UTILIZADA	19,950	28,833	51,300	9,262	9,975

Fonte: Autoria Própria.

4.6.3 Produção do Concreto com Moldagem dos Corpos de Prova e Cura

Para a confecção dos corpos de provas seguiu-se as diretrizes propostas pela ABNT NBR 5738:2016 que rege todos os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Desta maneira, para foi produzido o concreto que se utilizou-se para produção dos corpos de prova, utilizando a produção manual nesta etapa, tendo em vista que o laboratório de Engenharia Civil do Campus não dispunha de uma betoneira para realização da mistura mecânica do material.

Para o acondicionamento da mistura durante o processo da fabricação foi utilizado um recipiente metálico, fazendo-se uso de colheres de pedreiro para o revolvimento do material. No que remete a sequência do processo da mistura, foi colocado inicialmente no recipiente metálico a areia, RCD e cimento, sendo estes homogeneizados, e posteriormente misturados como a brita e água. A Figura 17 mostra esta etapa.

Figura 17: Acondicionamento dos materiais durante a produção dos CPs.



Fonte: Autoria Própria.

Visto que cada amostra foi composta por 6 CPs, para facilitar o processo de produção e moldagem dos mesmos, utilizou-se a proporção em massa dos componentes da mistura, dispostas na Tabela 6, para confecção de 3 corpos de prova por vez. Todavia, como se almeja a fabricação de 18 corpos de prova, foi realizado esse processo 6 vezes.

Os moldes dos corpos de prova utilizados na pesquisa foram os que o laboratório da instituição dispunha, sendo estes metálicos e com diâmetro de 10 cm e 20 cm de altura (Figura 18), sendo os mesmos submetidos a uma limpeza prévia, na busca de se evitar a presença de algum material indesejado, como prescreve a ABNT NBR 5738:2016.

Figura 18: Moldes metálicos com aplicação do desmoldante.



Fonte: Autoria Própria.

Assim, procedeu-se com a aplicação do desmoldante sobre a superfície do molde metálico, e posteriormente foi adicionada a mistura de concreto em duas camadas, adensadas com 12 golpes com o auxílio da haste metálica, como propõe a ABNT NBR 5738:2016. A posterior, os CPs foram submetidos a uma cura inicial de 24 h em superfície rígida e livre de vibrações, onde após este tempo, foi retirado o concreto dos moldes metálicos e submetido os mesmos a um tempo de cura de 28 dias em ambiente saturado. A Figura 19-B e 19-C apresenta a desmoldagem e cura do concreto.

Figura 19: Desmoldagem e cura do concreto.

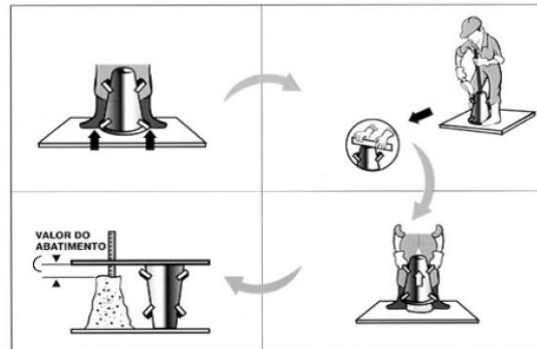


Fonte: Autoria Própria.

4.7 Ensaio de Consistência (*SLUMP TEST*)

Com a finalidade de se analisar a trabalhabilidade das amostras com presenças diferentes em porcentagem de RCD, realizou-se o ensaio de abatimento de troco de cone, também conhecido como *Slump test*. Desta maneira, procedeu-se com as especificações da ABNT NBR NM 67:1998 que propõe como se deve determinar a consistência pelo abatimento do tronco do cone. A Figura 20 mostra como é realizado o ensaio.

Figura 20: *Slump test*



Fonte: Branco e Pieretti, 2012.

Como propõe a Figura 20, o concreto deve ser introduzido no cone, sendo o mesmo preenchido por três camadas, as quais foram adensadas aplicando-se 25 golpes com o auxílio da haste metálica. Posteriormente, foi retirado o cone metálico num tempo estimado de 5 a 10 segundos, como propõe a ABNT NBR NM 67:1998, e medido o abatimento do concreto com o auxílio de uma trena, que é a diferença da altura entre o corpo de prova e o molde. A Figura 21 mostra o equipamento utilizado nesse ensaio.

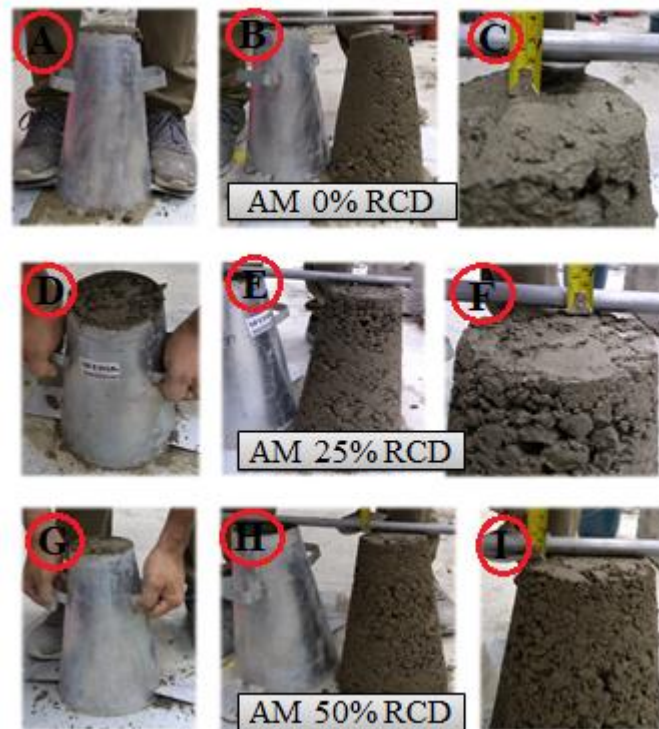
Figura 21: Equipamentos utilizados no *Slump test*.



Fonte: Autoria Própria.

Assim, o ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado para uma amostra de 0%, 25% e 50% de RCD em relação ao quantitativo de agregado miúdo. Todavia, a Figura 22-C, 22-F e 22-I mostra a medição sendo efetuada.

Figura 22: Ensaios de *Slump test*.



Fonte: Autoria Própria.

4.8 Ensaio de Resistência à Compressão

Para realização do ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova após o tempo de cura regido pela ABNT NBR 5738:2016, tomou-se como referencia as referencias propostas pela ABNT NBR 5739:2018 que propõe as diretrizes para o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Todavia, alguns corpos de provas passaram pelo processo de capeamento para um tratamento preliminar da sua superfície, visando deixar os mesmos nas condições para realização do ensaio, ou seja, para realização do experimento, a seção transversal dos CPs devem apresentar uma superfície mais plana possível, afim de evitar erros na obtenção dos dados.

Assim, os CPs foram introduzidos na prensa mecânica, a qual foi devidamente calibrada. Com isso, foi-se aplicado uma tensão no elemento testante para se obter o parâmetro de resistência a compressão. Desta forma, o parâmetro estudado deve ser obtido realizando-se a divisão da carga de ruptura pela área da seção transversal do CP, sendo este valor obtido expresso com aproximação de 0,1 MPa, como rege a ABNT NBR 5739:2018. A Figura 23 mostra o equipamento utilizado, bem como o elemento testado no maquinário mecânico.

Figura 23: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autoria Própria.

4.9 Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa Específica

Para determinação destes parâmetros fez-se uso das recomendações propostas pela ABNT NBR 9778:2009, que vem a tratar como proceder para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica de argamassas e concretos endurecidos. Todavia, para se proceder com o ensaio é necessário o entendimento das definições propostas no Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros se se determinar a absorção de água, índice de vazios e massa específica.

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO
Absorção de água por imersão	Fenômeno onde no qual a água penetra os poros permeáveis expostos de um corpo sólido.
Índice de vazios	Razão entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.
Massa específica da amostra seca	Razão entre a massa do material saturado e o volume total da amostra.
Massa específica da amostra saturada	Razão entre a massa do material saturado e o volume total da amostra.
Massa específica real	Razão entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

Para realização dos ensaios foi-se utilizado como aparelhagem a balança hidrostática, recipientes para imersão e fervura da amostra, além da estufa. A Figura 24 mostra a etapa de pesagem para obtenção das massas.

Figura 24: Obtenção das massas.



Fonte: Autoria Própria.

Desta maneira, para determinação da massa específica na condição seca, a amostra foi submetida a uma secagem na estufa a uma temperatura de 105 °C à 110 °C, por um período de 3 dias (72 h). Após este período a amostra foi coletada da estufa e pesada (M_s). Para determinação da massa em condições saturadas, o elemento de concreto foi imerso em água a uma temperatura de 23°C a 25°C durante 72 h.

Em seguida, a amostra foi posta em um recipiente com água sujeita a um progressivo aumento de temperatura, o qual ocorreu entre 15 min a 30 min, durante o tempo de 5 h. Posteriormente, esperou-se a água esfriar e atingir a temperatura de 25°C, onde com o auxílio da balança hidrostática foi averiguado a massa do elemento (M_i). E por fim, foi-se enxugado a mostra com um pano úmido, e feito o registro da massa (M_{sat}).

Matematicamente, para a determinação da absorção de água (A), procedeu-se com a Equação (3),

$$A (\%) = \frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_s)} \times 100 \quad (3)$$

onde,

- M_s : massa da amostra seca em estufa;
- M_{sat} : massa da amostra saturada em água após imersão em fervura.

Já o índice de vazios (I_v), foi calculado pela relação proposta na Equação (4),

$$I_v (\%) = \frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_{sat} - M_i)} \times 100 \quad (4)$$

onde,

- M_i : massa da amostra saturada imersa em água, após fervura.

E por fim, para o cálculo da massa específica (ρ_s) do elemento, adotou-se a Equação (5),

$$\rho_s (\%) = \frac{(Ms)}{(Msat-Mi)} \times 100 \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico ficou reservado à apresentação e discussão dos resultados obtidos na fase de caracterização dos materiais, como também dos dados averiguados na realização dos ensaios com os copos de prova.

5.1 Caracterização dos Materiais

A partir da metodologia adotada para caracterização dos materiais constituintes da mistura, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultado da caracterização dos materiais da mistura.

MATERIAIS	PROPRIEDADES	ESPECIFICAÇÃO
CIMENTO	Tipo de cimento	CP IV – 32 RS
	Resistência mecânica (28 dias) - MPa	32
	Massa específica (γ) - kg/m ³	3050
	Massa unitária (δ) - kg/m ³	1100
AREIA	Tipo de areia	Grossa
	Massa específica (γ) - kg/m ³	2660
	Massa unitária (δ) - kg/m ³	1430
BRITA	Tipo de brita	Brita 1
	Massa específica (γ) - kg/m ³	2700
	Massa unitária (δ) - kg/m ³	1470
	Dimensão – mm	9,5 à 19
RCD	Classe (CONAMA)	A
	Tipo de resíduos	Fragmentos de alvenaria de tijolo cerâmico, argamassa, concreto, gesso e piso cerâmico
ADITIVO	Tipo de aditivo	Plastificante
	Tempo de cura mínima (com presença de aditivo plastificante)	7 dias

Fonte: Autoria Própria.

Todavia, os materiais acima foram escolhidos com base nas especificações e normatizações vigentes, propostas na metodologia desta pesquisa. Por outro lado, vale a pena ressaltar que o RCD utilizado após passar pelo processo de moagem na máquina Los Angeles, obteve uma textura muito fluida, devido o processo resultar em um resíduo muito fino.

5.2 Ensaio de Limite de Plasticidade

A partir da realização do ensaio, percebeu-se que o RCD se desagregou em números

pequenos de frações de material, fator esse preponderante para se identificar com que tipo de material se trabalhava, como evidencia a Figura 25.

Figura 25: Resultado do ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autoria Própria.

Como evidência a ABNT NBR 7180:2016, em caso de não se conseguir moldar o cilindro de 3 mm de circunferência, o ensaio deve ser interrompido e definir-se que o material não possui limite de plasticidade. Todavia, o ensaio aqui realizado se enquadra nesta especificação, tendo em vista que o material se fragmentou antes de atingir as especificações postas pela norma.

Por outro lado, pode-se constatar a partir da análise visual e de tato, que a amostra de RCD apresentava características de materiais arenosos, demonstrando propriedades como desprendimento da água da massa da amostra, devido fatores como alta porosidade e permeabilidade, e brilho e aspereza na superfície do material. Neste contexto, devido fatores como citados anteriormente, não se foi possível obter o limite de plasticidade (LP), corroborando com a literatura que evidencia o LP é maior para solos argilosos e baixos para solos arenosos, pois, o mesmo foi condicionado pela presença de argilominerais e de sua ausência nas areias (FIORI e CARMIGNANI, 2001).

5.3 Ensaio de Limite de Liquidez

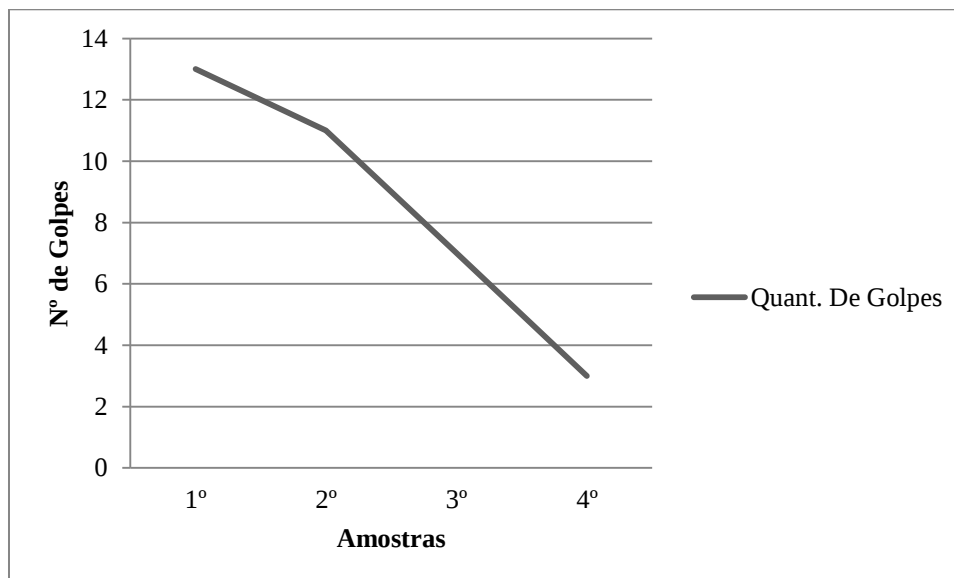
Com a realização do ensaio notou-se que a amostra hidratada não se aderiu firmemente à superfície da concha metálica do aparelho de Casagrande, o que resultou, após ligar a máquina, no fechamento da ranhura com uma pequena série de golpes. Todavia, foram realizados quatro vezes o ensaio para se constatar o limite de liquidez (LL) da amostra e para trazer caráter de confiabilidade aos dados, como averigua-se na Tabela 8 e no Gráfico 1.

Tabela 8: Série de golpes do ensaio de limite de liquidez.

Nº DO ENSAIO	1º	2º	3º	4º
QUANT. DE GOLPES	13	11	7	3

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 1: Representação do número de golpes do ensaio.



Fonte: Autoria Própria.

Como ilustrado no Gráfico 1, foram realizados quatro vezes o ensaio no aparelho de Casagrande para se constatar o LL da amostra de RCD. Todavia, mediante a não obtenção de uma consistência na ordem de 35 golpes no primeiro ensaio, como proposto pela ABNT NBR 6459:2017, aferiu-se a não existência de LL da amostra, entretanto, realizou-se mais três ensaios (para se obter ao todas as quatro aferições como exigido pela NBR) na busca de constatar o resultado do ensaio aferido mediante o primeiro ensaio. Neste contexto, obteve-se um decréscimo acentuado no número de golpes, e por não se obter uma consistência no RCD analisado na ordem de 25 golpes, conclui-se que a amostra não possui LL.

O resultado obtido, foi de encontro com os estudos de Santos et al. (2015), corroborando com a ideia que em amostras terrosas com horizontes mais arenosos, como o RCD analisado, não foi possível determinar o limite de liquidez, pois a fenda aberta na concha metálica do aparelho de Casagrande se fecha antes de 18 golpes, como mostrado na Figura 26, caracterizando a AM como arenoso, uma vez que este ensaio só apresenta resultados expressivos em AMs argilosas, pois estas tem a capacidade de reter água e como durante o ensaio é adicionado gradativamente água, mais líquido ele retém, tornado o solo uma massa pegajosa, passando para a fluidez, fase característica do experimento.

Figura 26: Fechamento da ranhura antes de 18 golpes.



Fonte: Autoria Própria.

5.4 Ensaio de Fluorescência de Raios X

Visando entender melhor a composição química presente no RCD utilizado, adotou-se o método analítico proposto pelo ensaio de fluorescência de raios X. Desta forma, através dos resultados desta técnica, mostrados na Tabela 9 e no Gráfico 2, buscou-se averiguar a influência dos elementos Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Silício (Si), Enxofre (S) e Alumínio (Al) sobre as características do concreto fabricado, haja vista que os mesmos representam 86.846% da quantidade total da composição da amostra.

Tabela 9: Composição química do RCD empregado.

ELEMENTOS PRESENTES	CONCENTRAÇÃO (%)
Ca	31.961
Fe	18.959
Si	16.028
S	13.893
Al	6.050
K	5.018
Zr	3.196
Sr	2.516
Ti	1.096
Rb	0.697
Mn	0.276
Y	0.179
Zn	0.131

Fonte: Autoria Própria.

Segundo Silva (2007), a presença do elemento Cálcio (Ca) na mistura cimentícia, a depender de composição química, pode gerar benefícios e malefícios. O processo de Carbonatação, patologia definida como um processo físico-químico entre o gás carbônico (CO₂) presente na atmosfera e os compostos da pasta cimentante, é um dos fenômenos causado no concreto devido influências do Cálcio (Ca), por exemplo.

Por outro lado, Bertos et al. (2004) concluiu que alguns materiais cimentícios carbonatados apresentam algumas propriedades químicas, como:

- Quanto maior a concentração de Cálcio (Ca) menor a frente de carbonatação. Todavia, a carbonatação ocorre em materiais que contenham Ca⁺⁺ disponível para reação;
- O Grau de carbonatação é maior mediante o aumento na relação Ca/Si;
- Alteração de parâmetros como porosidade e permeabilidade.

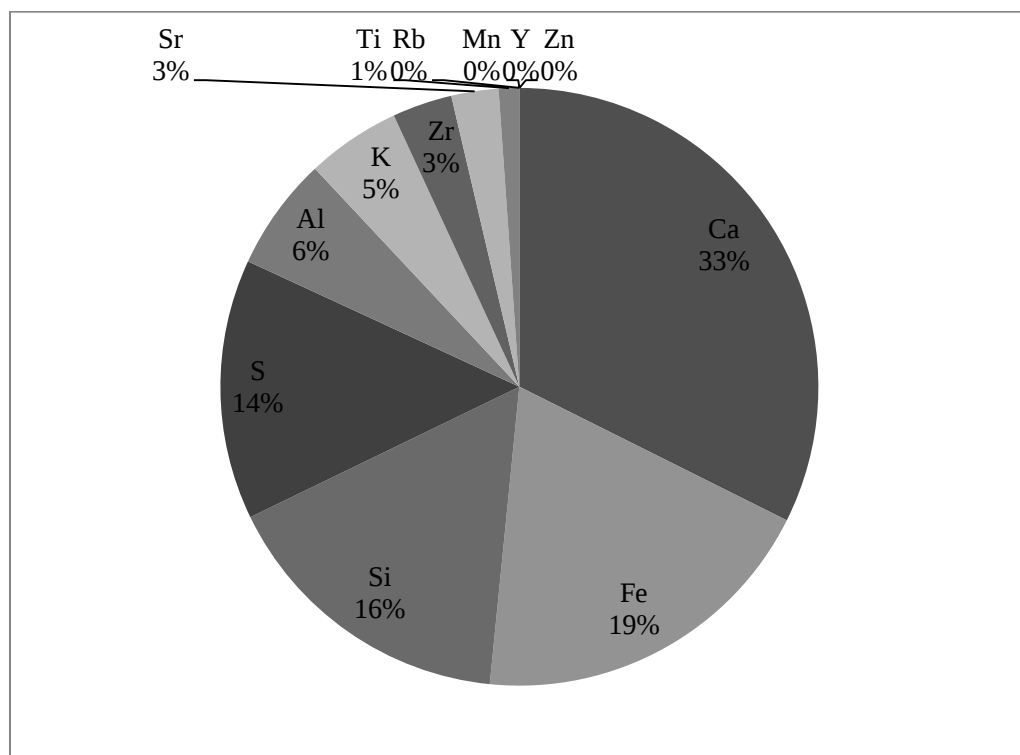
Em seus estudos, Pecchio (2013) afirma que com relação à influência do enxofre (S) no desempenho do cimento e concreto que,

“é importante lembrar que os compostos de enxofre, principalmente a gipsita, são utilizados na composição do cimento como controladores da pega (resistência inicial da pasta) e ao mesmo tempo atuam como um catalizador da hidratação das fases silicáticas, em especial da alita. A presença de sulfatos alcalinos também pode cumprir esse papel, aumentando o tempo de pega do cimento. Regourd e Boikova (1992) afirmam

que o enxofre presente nas fases do clínquer reduz o tempo de pega, enquanto o enxofre presente na forma de sulfatos alcalinos retardaria a pega do cimento.” (PECCHIO, pag.57,2013).

Por outro lado, a presença de 6,050% de alumínio (Al) e de 18,959% de Ferro (Fe) na composição do RCD, pode ocasionar impactos diretos sobre a propriedade de pega do concreto. Pecchio (2013) afirma que o concreto de aluminato de cálcio (CAC) juntamente com a Ferrita (Fe_2O_3), chamada de fase intersticial, facilitam as reações de clínquerização, ocasionando assim, a diminuição da temperatura de formação do clínquer. Desta maneira, a depender da taxa de resfriamento do clínquer, a fase intersticial desenvolve dois compostos de características distintas, são eles: o ferroaluminato tetracálcio (C_4AF) e o aluminato tricálcico (C_3A), sendo este último de grande importância, por estar diretamente relacionado a definição do tempo de pega do material cimentante.

Gráfico 2: Ilustração da composição química do RCD.



Fonte: Autoria Própria.

5.5 Ensaio de Consistência (SLUMP TEST)

O ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado logo após a produção dos 18 CPs, onde foram realizados 3 ensaios, sendo a primeira amostra com a adição 0%, o segundo com 25% e o terceiro com 50% de RCD. Onde em uma análise geral, percebeu-se que o abatimento do concreto não apresentou a ocorrência de cisalhamento ou desmoronamento em

nenhuma das amostras, como se observa na Figura 27-A, 27-B e 27-C.

Figura 27: Resultado visual do ensaio de *Slump test*



Fonte: Autoria Própria.

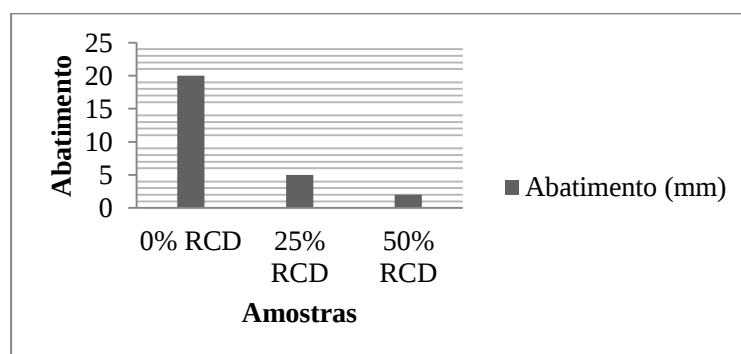
Assim, foram feitas as medidas do abatimento em todos as amostras, representadas pela Tabela 10 e ilustrado também no Gráfico 3.

Tabela 10: Ensaio de abatimento.

AMOSTRAS	ABATIMENTO (mm)
Amostra 1 – 0% RCD	20
Amostra 2 – 25% RCD	5
Amostra 3 – 50% RCD	2

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 3: Representação gráfica do ensaio de *Slump test*.



Fonte: Autoria Própria.

Neville (2013) propõe uma relação entre a trabalhabilidade, abatimento e ao uso indicado, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Trabalhabilidade no abatimento de tronco de cone.

GRAU DE TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE (mm)
Muito baixo	0-25
Baixo	25-50
Médio	25-100
Alto	100-175

Fonte: Adaptado de Neville, 2013.

Dessa forma, averigua-se a partir de uma análise, correlacionando os dados obtidos na Tabela 8 com os parâmetros impostos por Neville (2013) na Tabela 9, que todas as amostras obtiveram um grau de trabalhabilidade muito baixa. Nesse sentido, pode-se perceber que o concreto produzido apresentou um decaimento em sua trabalhabilidade em função da granulometria e consequentemente baixa plasticidade do RCD utilizado.

Por outro lado, devido ao RCD utilizado apresentar-se em uma composição granulométrica fina após as 1000 voltas na máquina Los Angeles, sua incorporação na mistura mediante porcentagens de 25% e 50% sobre a massa de areia calculada no traço, demonstrou que o parâmetro água deve ser corrigido. Todavia, os resultados aqui apontados são corroborados pelos estudos propostos por Pandolfi (2016), que mostrou que ao introduzir o RCD na mistura, a trabalhabilidade da mesma cai.

Porém um outro parâmetro não pôde ser averiguado por falta da betoneira no laboratório, de acordo com os estudos de Queiroz (2018), que mostrou que a massa pode atingir uma trabalhabilidade boa quando se faz uso de betoneira para a mistura dos materiais.

Nesta conjectura, esses resultados mostraram que as características intrínsecas do RCD têm total influência nas características do concreto a ser produzido, necessitando-se assim, um estudo químico mais aprofundado para se propor uma dosagem mais adequada, mediante a aplicabilidade que se deseja.

5.6 Ensaio de Resistência a Compressão

Visando entender a influência da incorporação do RCD sobre a resistência do concreto, foram feitas três amostras de CPs (cada AM contendo três CPs) e submetidos os mesmos ao ensaio de compressão ao término de cura – 28 dias. Desta maneira, foi-se calculada uma resistência média característica de cada amostra, a qual foi elencada na Tabela 12 e ilustrada no Gráfico 3.

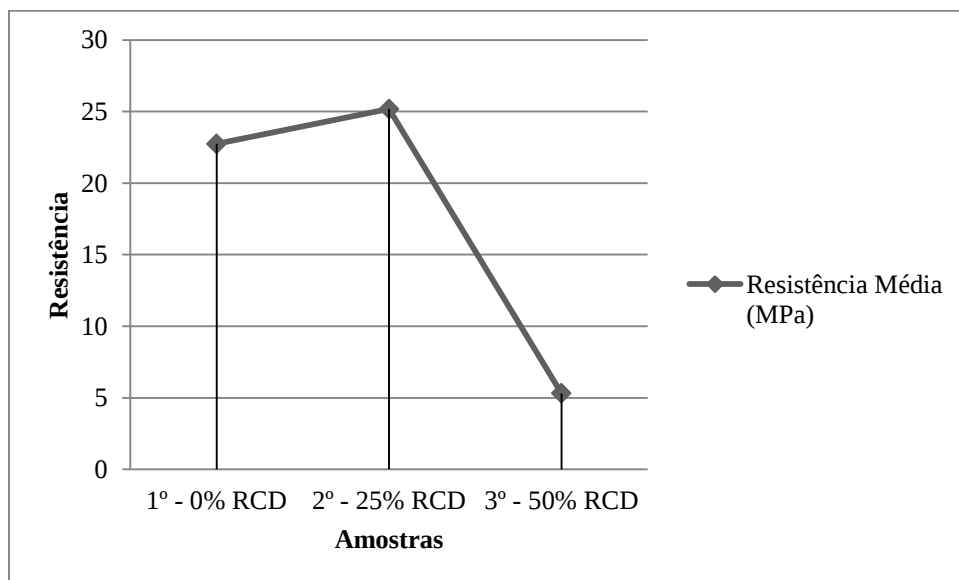
Tabela 12: Resistência alcançada das amostras.

AMOSTRA		FORÇA (N)	ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO CP (MM²)	RESISTÊNCIA (MPa)	RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)
AMOSTRA 1 (0%)	1	171920	7777,201	22,105	22,736
	2	171800	7777,201	22,090	
	3	186760	7777,201	24,014	
AMOSTRA 2 (25%)	1	210840	7777,201	27,110	25,181
	2	180160	7777,201	23,165	
	3	196530	7777,201	25,270	
AMOSTRA 3 (50%)	1	47840	7777,201	6,151	5,307
	2	51980	7777,201	6,684	
	3	24010	7777,201	3,087	

Fonte: Autoria Própria.

Como mostrado no Gráfico 4, com a adição de 25% de RCD sobre a massa de areia calculada no traço, foi possível notar um ganho de resistência frente a incorporação deste resíduo, embora seja valores relativamente baixos. Desta maneira, inúmeros são os fatores que contribuem para o parâmetro de resistência à compressão, podendo-se aqui citar o controle tecnológico, matéria prima utilizada na mistura, processo de cura, dentre outros.

Gráfico 4: Comportamento da resistência.



Fonte: Autoria Própria.

Constatou-se que na amostra 2 com substituição de 25% da areia por RCD ocorreu um acréscimo de 5,10% na resistência, quando comparado a amostra 1, que não faz uso do RCD na sua composição. Por outro lado, na amostra 3 que possuía 50% de substituição da areia por RCD ocorreu um decréscimo de 62,2% no parâmetro de resistência quando comparado a amostra 1 e 65,19% em relação a amostra 2. Todavia, os resultados aqui encontrados vão ao

encontro dos estudos como o de Aragão *et al* (2007) e Isaia (2011) que demonstram que foi possível encontrar resultados positivos no parâmetro de resistência em concretos recicláveis.

Do ponto de vista ambiental, pode-se concluir que a utilização do RCD no concreto foi uma alternativa para inúmeras aplicações, tendo em vista a destinação do resíduo, como por exemplo, em pilares de concreto armado com funcionalidade de resistência a ações de compressão de 25 MPa (RAMOS e GIONGO, 2005). Todavia, das amostras aqui estudadas, a AM 2 se mostrou como uma boa alternativa para empregabilidade no mercado, entretanto, um estudo mais aprofundado da microestrutura do concreto se faz necessário para entender melhor qual parâmetro tem influência direta sobre o fator resistência.

Contudo, pode-se afirmar que a presença de 19% do elemento ferro (Fe) constatados no ensaio de fluorescência de raios X, foi um fator preponderante sobre o parâmetro de resistência mecânica observada na AM 2, tendo em vista o estudo proposto por Alcantara, Nóbrega e Moura (2014), que constatou um leve aumento de resistência a compressão em argamassas sobre a influência controlada da adição de pigmentos de óxido de ferro (Fe₂O₃).

Outro parâmetro interessante de interligar a resistência provida nos CPs foi o controle tecnológico empregado. Recena e Pereira (2011) informam que é frequente o ato de confundir controle da resistência a compressão com o próprio controle tecnológico do concreto, limitando assim, o processo que envolve uma gama de variáveis importantes a serem controladas. Corroborando com essa prerrogativa, Helene e Terzian (1993) afirmam que foi bastante irreal e inoperante relacionar o controle do concreto sob uma visão das características finais apresentadas, sem realizar anteriormente um controle de uniformidade e qualidade da matéria-prima.

Desta maneira, visto que foi feito um controle sobre a qualidade dos materiais empregados na fabricação dos CPs, buscou-se analisar o controle tecnológico envolvido no processo. Assim, com o auxílio da ferramenta Excel e de conceitos de estatística básica, foram utilizados os valores de resistência das amostras para se traçar a curva de Gauss² e analisar a resistência referente ao quantil de 5% de probabilidade. O objetivo foi de averiguar a resistência característica à compressão para cada amostra analisada. Todavia, foi utilizada a Curva de Gauss com base na média e no desvio padrão da amostra (DEVORE, 2013).

Desta maneira, a densidade de probabilidade foi dada pela integral da Equação (6)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty, \quad (6)$$

² Este método pressupõe que a variável de interesse tem distribuição Gaussiana (normal).

onde:

μ = é o valor esperado (média) de X , com $-\infty < x < \infty$;

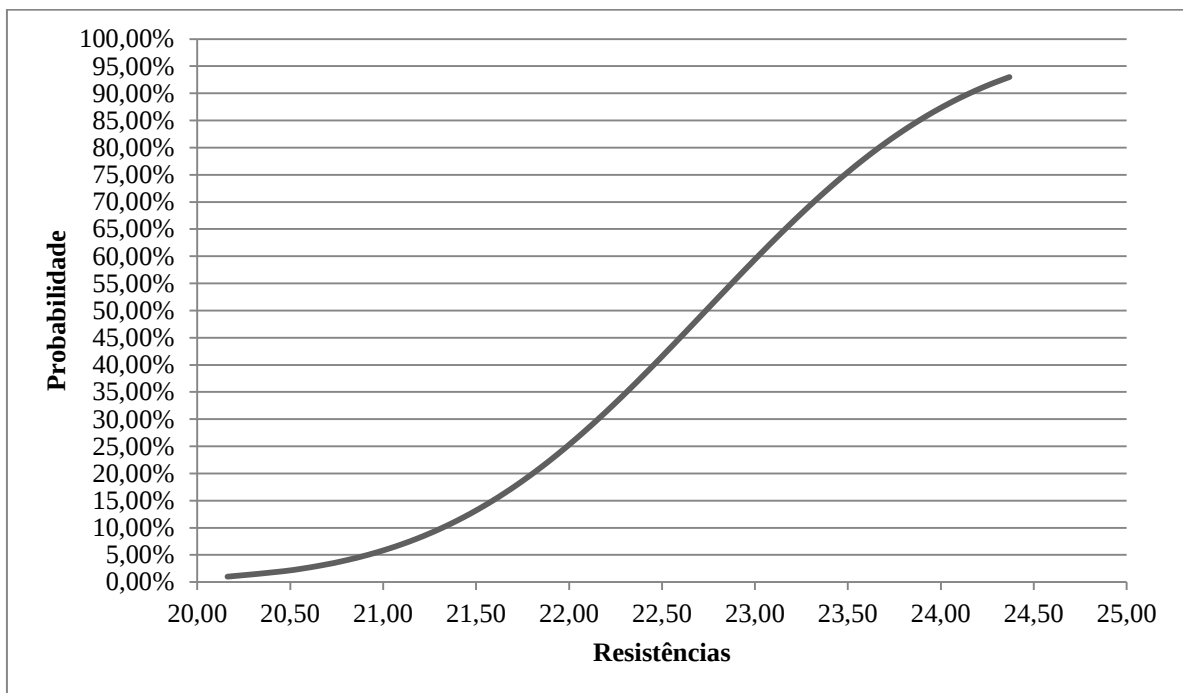
σ^2 = é a variância de X , com $\sigma^2 > 0$.

Já para a função de distribuição (cumulativa) é dada pela integral da Equação (7)

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

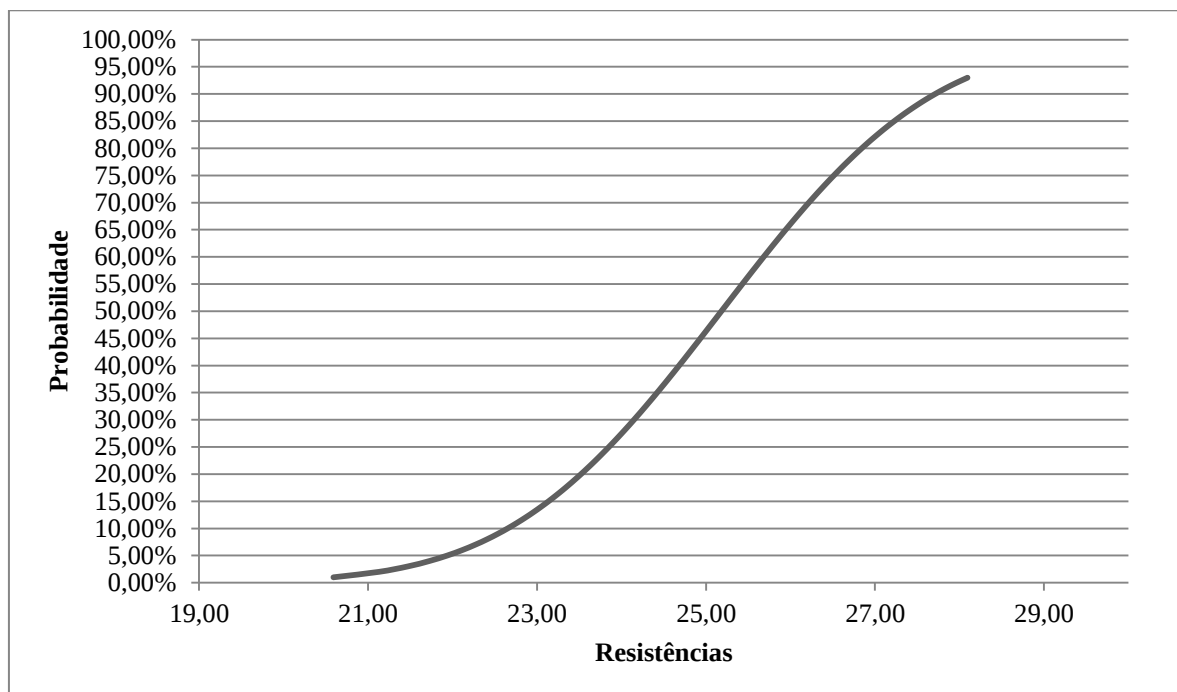
Desta maneira, aplicando a Equação (6) e (7) sobre os resultados dispostos na Tabela 12, obtemos os Gráficos 5,6 e 7 referentes as amostras 1, 2 e 3, respectivamente, são apresentados a seguir.

Gráfico 5: Distribuição cumulativa de probabilidade para a resistência à compressão – amostra 1.



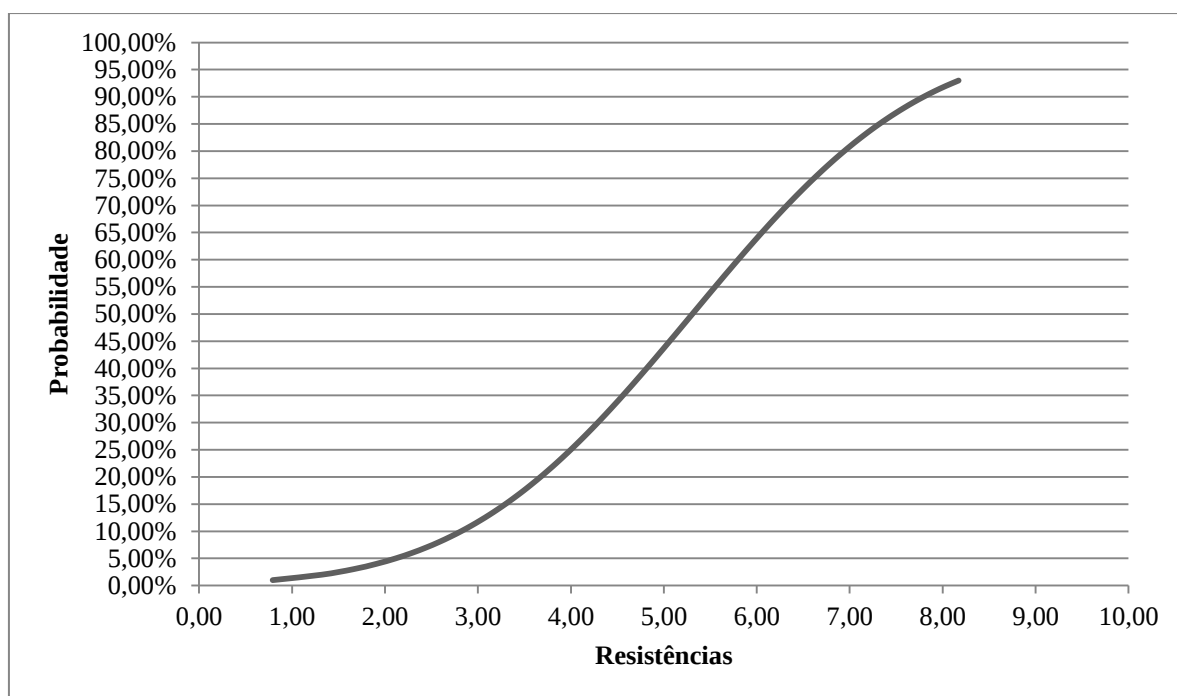
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 6: Distribuição cumulativa de probabilidade para a resistência à compressão – amostra 2.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 7: Distribuição cumulativa de probabilidade para a resistência à compressão – amostra 3.



Fonte: Autoria Própria.

Como se podem observar nos Gráficos 5, 6 e 7, as amostras 1,2 e 3 obtiveram o valor

de fck em 5% de probabilidade de 20,92 MPa, 21,93 MPa e 2,11 MPa, respectivamente. Desta forma, quando se vem a comparar este valor com a média das resistências mecânicas disponíveis na Tabela 12 com o valor do fck, pode-se afirmar que a amostra 1 e 2 obtiveram um controle tecnológico bom, enquanto a amostra 3 obteve uma disparidade na comparação destes parâmetros. Todavia, esse baixo controle tecnológico do concreto pode ser explicado pelo tipo de técnica de mistura dos componentes empregado, bem como o tipo de adensamento utilizado.

Outro fator como não correção da água na amostra que contem maior quantidade de finos (amostra 3), que resultaram em uma baixa trabalhabilidade, pode ser outro fator que corroborou com o resultado expresso pelo Gráfico 7.

5.7 Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa Específica

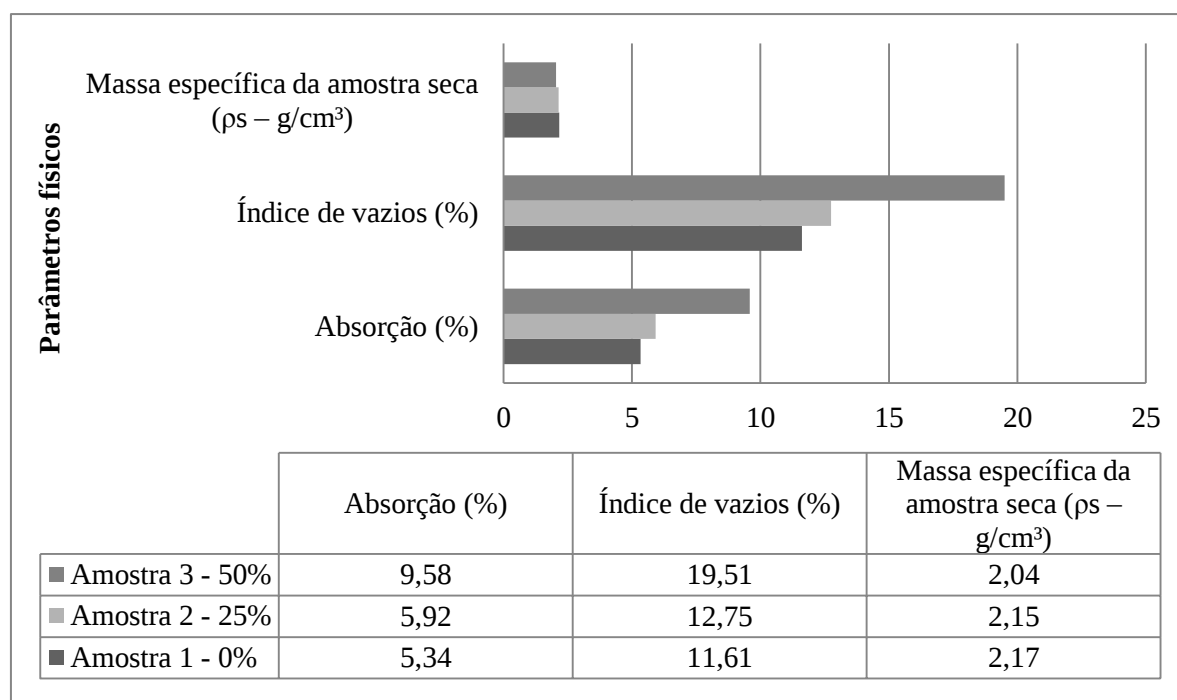
Realizados os ensaios, foi possível coletar a massa seca, a massa saturada em água após a imersão e fervura, e por fim, a massa das amostras saturadas imersas em água a temperatura ambiente, os valores encontrados podem ser aferidos na Tabela 13 e ilustrados no Gráfico 8.

Tabela 13: Massas das amostras de concreto.

AMOSTRAS		Ms (g)	MÉDIA (g)	Msat (g)	MÉDIA (g)	Mi (g)	MÉDIA (g)
AMOSTRA 1 - 0%	1	3434,0	3406,7	3605,4	3588,6	2035,5	2022,9
	2	3349,6		3531,2		1971,6	
	3	3463,6		3629,3		2061,7	
AMOSTRA 2 - 25%	1	3309,0	3348,7	3502,2	3547,1	1972,8	1991,3
	2	3370,7		3570,8		2005,3	
	3	3366,5		3568,4		1995,8	
AMOSTRA 3 - 50%	1	3017,7	3035,7	3310,0	3326,6	1825,4	1835,5
	2	3062,3		3357,6		1850,0	
	3	3027,2		3312,1		1831,2	

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 8: Absorção de água, índice de vazios e massa específica das amostras secas.



Fonte: Autoria Própria.

Através da Tabela 13 pode-se averiguar que a presença do RCD na mistura cimentante contribuiu diretamente para o crescimento da taxa de absorção de água e índice de vazios, o que vem a corroborar como o estudo de Queiroz (2018). Numericamente, no que diz respeito ao parâmetro absorção de água, a amostra 2 e 3 demonstraram um acréscimo de 5,15% e 28,42%, respectivamente, em relação a amostra 1.

Para o parâmetro índice de vazios, verificou-se um aumento de 4,68% e 25,38% da amostra 2 e 3, respectivamente, em relação a amostra 1. Desta maneira, pode-se concluir que os acréscimos destes parâmetros estão diretamente relacionados a não correção da relação a/c que foi empregada na mesma proporção para as três amostras, o que resultou numa maior taxa de incorporação de ar na mistura cimentante, promovendo um aumento de porosidade considerável.

Todavia, vale a pena ressaltar que a taxa de absorção de água foi um parâmetro diretamente ligado ao índice de vazio da estrutura, visto que a absorção de água ocorrida no concreto ocorre mediante os poros existentes. Assim, são parâmetros diretamente proporcionais, se um aumenta ou outro acompanha. Entretanto, no que tange a durabilidade da estrutura, pode-se dizer que o aumento da absorção de água interfere negativamente, visto que a presença continua deste fluido nos poros da estrutura de concreto pode danificá-la e causar mudanças em suas propriedades.

Outro resultado bastante interessante de ser analisado foi que mesmo com o aumento no índice de vazios, pode-se obter um acréscimo de 5,10% na resistência mecânica na amostra 2 em relação a amostra 1, o que vai contra ao estudo proposto por Neville (2013), contudo, essa linha de pensamento no parâmetro de resistência pode ser aplicado na amostra 3, que obteve resultados que corroboram com os estudos de Neville (2013).

Por fim, no que se remetem os resultados da massa específica seca dos concretos, pode-se perceber uma diminuição de 0,46% e 3,09% da amostra 2 e 3, respectivamente, em relação a amostra 1. Todavia estes resultados podem ser explicados conforme as ideias propostas por Almeida (2002), que vem a afirmar que esta propriedade em específico depende de muitos fatores, como natureza do agregado utilizado, granulometria e do tipo de método de adensamento empregado. Assim, como o parâmetro densidade está diretamente relacionado com a massa, a aplicabilidade deste concreto pode vir a ser analisada para estruturas que demandem uma densidade mais “leve” ou “pesada”.

6. APLICABILIDADE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sabe-se que a aplicação de um dado concreto em uma dada construção depende de inúmeros fatores, como: resistência mecânica solicitante, ambiente de exposição, aderência do mesmo a estrutura metálica (quando se trabalha com um concreto armado), disponibilidade de materiais, dentre outros. Quando se trata, por exemplo, de uma obra como estação de esgoto ou rede pluvial, que existe a presença de águas sulfatadas, com a presença de teores de sais elevados, a indicação é de um concreto que utilize o cimento com resistência a sulfatos, como o CP V-ARI RS.

Contudo, fazendo uma análise reduzida de aplicabilidade levando em consideração os resultados aqui propostos, sobre uma visão de análise apenas de um parâmetro como, por exemplo, resistência à compressão mecânica, índice de vazios, e taxa de absorção de água, podemos ter um direcionamento inicial das possíveis aplicabilidades dos concretos em estudo. Todavia, vale a pena ressaltar que estudos mais detalhados devem ser feitos para constatar e atestar as aplicabilidades a seguir propostas, haja vista que escolher um tipo de concreto sobre o olhar de um único parâmetro é bastante irreal e inoperante.

Sobre o olhar da característica de resistência a compressão mecânica a bibliografia vem informar que o concreto pode ser dividido em concreto estrutural, com resistência a compressão acima de 20 MPa e concreto não estrutural, com a resistência a compressão abaixo de 20 MPa. Do ponto de vista da aplicabilidade do concreto, Ramos (2005) vem a afirmar que é possível construir pilares com resistência a compressão de 25 MPa, assim, como se obteve na amostra 2 um valor deste parâmetro de 25,181 MPa, este tipo de concreto pode ser destinado a essa finalidade.

Por outro lado, Ferreira (2013) mostrou que é possível obter resultados positivos na aplicabilidade de concretos com incorporação de RCC em lajes pré-moldadas, mesmo obtendo valores de índice de vazios de 34,78% e 5,5% de absorção de água. Corroborando com essa ideia, Hansen (1992) e Narud (1983) vêm a apresentar um estudo semelhante, chegando a valores de índice de vazios parecidos com os encontrados nesta pesquisa. Neste contexto, averigua-se que as amostras 2 e 3 que contém adição de RCD, do presente estudo, são compatíveis aos resultados apresentados pelos autores citados anteriormente, o que mostra uma relevância do estudo das características destas para constatar-se essa finalidade do uso do concreto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa aqui proposta afirmou que a preocupação de se buscar incorporar na matriz do concreto, materiais que sejam compatíveis, do ponto de vista que não venham prejudicar seu desempenho e sua vida útil. Desta maneira, este trabalho buscou analisar os efeitos da incorporação do resíduo de construção e demolição (RCD) sobre o concreto, tendo em vista que este material subproduto da construção civil cresce exponencialmente, sem uma destinação consolidada e estar, constantemente, sobre os olhares de uma preocupação ambiental.

Pode-se constatar durante o processo de fabricação do concreto, que o uso do RCD ocasionou uma diminuição no parâmetro de trabalhabilidade no concreto fresco, contudo, todas as amostras obtiveram um valor de abatimento que segundo Neville (2013), os mesmos possuíram um grau de trabalhabilidade muito baixo. No que remete a resistência mecânica a compressão, ocorreu um aumento significativo de 5,10% na amostra 2 em relação a amostra 1, enquanto a amostra 3 apresentou um decaimento de 62,2% em relação a amostra de concreto sem adição de RCD. Todavia, estes resultados mostraram a importância de se analisar a incorporação do resíduo ao concreto, haja vista, por exemplo, que o aumento na resistência mecânica a compressão obtida na amostra 2 mostra representa um parâmetro que através de estudos mais aprofundados, pode ser empregado no mercado de construção civil atrelado a uma visão de sustentabilidade.

No tocante ao índice de vazios e taxa de absorção de água, o incremento do resíduo de construção ocasionou o aumento da porosidade, o que acarretou em um crescimento de valores nos resultados. Numericamente, em comparação a amostra 1, foram atingidos 5,10% e 28,42% de acréscimo para a amostra 2 e 3, respectivamente, para o parâmetro de absorção de água e um aumento 4,68% e 25,38% da amostra 2 e 3, respectivamente, quando em comparação com a amostra sem adição de resíduo. Assim, estes resultados vão de encontro à bibliografia, que mostra que devido ao aumento no índice de vazios, a taxa de absorção se elevou proporcionalmente.

Em relação aos valores obtidos para a massa específica das amostras, percebeu-se que com a incorporação do RCD ao concreto ocorreu a diminuição deste parâmetro. Foram encontrados expressivos valores de decaimento de massa na ordem de 0,46% e 3,09% para a amostra 2 e 3, respectivamente, quando comparadas a amostra 1. Assim, pode-se perceber que a amostra 1 apresentou um concreto mais pesado quando em comparação com a amostra 3, que com a adição do RCD obteve uma massa específica seca menor. Desta forma, o estudo

mais aprofundado dos resultados da amostra 3 para este parâmetro se faz de suma importância, haja visto que concretos mais leves vem contribuir com a diminuição do peso próprio da estrutura, sendo este um fator que afeta diretamente sobre a economia dos demais elementos estruturais.

Por fim, entende-se que a referida pesquisa cumpriu com o seu objetivo de fazer uma análise físico-química do RCD incorporado ao concreto, para avaliação de possíveis aplicações.

Assim, com base nos resultados aqui apresentados, nota-se uma significativa viabilidade do uso do concreto com adição do RCD. Contudo, verifica-se a necessidade de estudos mais aprofundados para entender e compreender as características e propriedades deste material cimentante.

Dentre alguns destes estudos, pode-se citar a Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura sobre o RCD utilizado para entender melhor sua influência sobre o concreto, todavia, outros estudos mais detalhados podem ser averiguados no tópico 8 deste trabalho.

8 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Pode-se concluir que a principal limitação da pesquisa é a falta de tempo para realização de mais ensaios que viessem a caracterizar melhor as amostras, tanto no estado fresco como no estado endurecido do material. Todavia, a partir da realização deste trabalho e dos resultados obtidos, averigua-se a necessidade da viabilidade da execução de outros ensaios e do aprimoramento de alguns parâmetros.

Assim, diante da possibilidade de pesquisas a cerca do tema central deste trabalho, haja visto que, o aprimoramento dos resultados tem impacto direto sobre o âmbito da engenharia civil.

Sendo assim, são propostas as seguintes pesquisas:

- Realizar o cálculo do traço concreto levando em consideração a influência da absorção de água nas diferentes porcentagens de RCD incorporadas, fazendo o uso do método ABCP de dosagem de concretos;
- Fazer uma variação na porcentagem da adição do RCD em 10%, 15%, 20%, 30%, 35%, 40% e 45%, a fim de se avaliar a influência nas características do concreto a frente de percentuais controlados;
- Aumentar a granulometria do RCD, par avaliar se ocorrem interferências no parâmetro de absorção de água das misturas, fazendo-se uso das diretrizes propostas pela ABNT NBR NM 248:2003, a fim de caracterizar melhor os grãos;
- Fazer a incorporação do RCD às argamassas, buscando avaliar parâmetros como a interferência da adição no tempo de pega da mistura e verificar a resistência à aderência;
- Verificar o processo de Carbonatação do concreto produzido com a adição do RCD, levando em consideração as diferentes porcentagens de incorporação à matriz cimentícia;
- Averiguar a variação das características do concreto frente a ambientes agressivos com presença de cloretos, por exemplo, buscando sua empregabilidade no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2018.

ACCHAR, Wilson. **Materiais Cerâmicos: caracterização e aplicações**. Natal: EDUFERN, 2006. 114 p.

ALCANTARA, P. S. X. ; NÓBREGA, A. C. V.; MOURA, L. S. **INFLUÊNCIA DOS PIGMENTOS DE ÓXIDO DE FERRO NAS PROPRIEDADES DA PASTA DE CIMENTO**. Cuiabá-MT, 2014. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/209-007.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2019.

ALMEIDA , Prof. Msc. Luiz Carlos. **Concreto-Notas de aula da disciplina**. Campinas - SP: [s. n.], 2002. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2019.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000. 155p.

ARAGÃO, Helio Guimarães *et al.* **APPLICATION OF THE RECYCLED CONCRETE OF CDW IN PRECAST 'T' BEAMS**. [S. l.], 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318362896_APLICACAO_DO_CONCRETO_REICLADO_DE_RCD_EM_VIGAS_PARA_LAJES_PRE-MOLDADAS. Acesso em: 3 fev. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180. **Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. **Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

BAUER, L. A Falcão. **Materiais de Construção**. Vol. 2. 5º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BERTOS, M.F.; SIMONS, S.J.R., HILLS, C.D.; CAREY, P.J. (2004). **A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂**. Journal of Hazardous Materials, p. 193-205.

BRANCO, CAIO PÉRICLES; PIERETTI, RENATO APARECIDO. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CURADO ENTRE -5°C E 0°C**. Disponível em: <<http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1551>>.2012. Acesso em: 28 dez. 2018.

CANEDO, ALINE CRISPIM; BRANDÃO, FERNANDO BUIATE; PEIXOTO FILHO, FERNANDO LUIZ. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO NA**

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO. 2011. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/REAPROVEITAMENTO_DE_RES%C3%84DUO_DE_CONSTRU%C3%87%C3%83O_NA_PRODU%C3%87%C3%83O_DE_ARGAMASSA_DE_REVESTIMENTO.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 307, de 05 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/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 13 abril 2015.

CORINALDESI, V. e MORICONI, G. **Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate.** Construction and Building Materials 23, 2009. p. 289– 294.

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências.** São Paulo: Cengage CTP, 2013.

FERREIRA, E.T., “**Contribuição ao estudo do potencial de aproveitamento de agregados reciclados de RCC produzidos na Usiben - João Pessoa - em concreto estrutural aplicado em lajes pré-moldadas**”, Tese D. Sc., Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamento de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes,** Editora UFPE, 2001.

GIAMUSSO,S.E. **Manual do Concreto.** São Paulo. 2ª Ed. Pini, 1992 IBI, Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Aditivos Para Concreto.** 2018. Disponível em: <<http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

GÜNTHER, Hartmut. **Psicologia: Teoria e Pesquisa.** Mai-Ago 2006, Vol. 22 n. 2, pp. 201-210.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and mansory.** London: Chapman & Hall, 1992. 316p.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: PINI, 1993.

ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ciência e Tecnologia. In: ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio D. **CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS**. [S. l.]: IBRACON, 2011.

JOHN, V. M. AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário de resíduos sólidos domiciliares, CETESB. São Paulo, 2000, 13 p.

LAGETEC, Laboratório de Geotecnia. **DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ: DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE**. 2017. Disponível em: <<http://www.lagetec.ufc.br/wp-content/uploads/2017/07/Ensaio-de-limites-de-liquidez-e-plasticidade-de-material-granular.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo (EESC USP). São Carlos, 1999, 222 p.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

MARQUES NETO, José da C. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RIMA, 2005. 162 p.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 1ed. São Paulo: PINI, 2008. 616p.

MOSCA, Prof Dante. **Física Moderna**. 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/359092/>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

NARUD, H. **Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate**. *Concrete International*, v. 5, n. 1, p. 79-83, 1983.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

NOAL, Bruno Alexandre Mainardi. **ENTENDENDO AS TRINCAS E FISSURAS**. 2016. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/entendendo-as-trincas-e-fissuras/>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

NOGUEIRA, LUIS GUSTAVO DA SILVA. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável.** 2013. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6363/1/20916233.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

ORG, Cimento. **CP IV – Cimento Portland pozolânico.** 2010. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-iv-32-cimento-portland-pozolanico/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

PANDOLFI, MARINA PEREIRA. **ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO.** 2016. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1899/1/Estudo%20do%20uso%20de%20res%C3%ADduos%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20em%20concreto%20para%20pavimenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

PECCHIO, Marcelo Pecchio. **A INFLUÊNCIA DE FÓSFORO, ENXOFRE E ESTRÔNCIO NA MINERALOGIA DO CLÍNQUER PORTLAND.** 2013. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós Graduação em Mineralogia e Petrologia) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44144/tde-18112013-105543/pt-br.php>. Acesso em: 17 fev. 2019.

PETRUCCI, E.G., **Concreto de Cimento Portland:** São Paulo: ABCP, 1981.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999. 189f.

QUEIROZ, CÍNTIA RAFAELA DE MELO. **AValiação do Comportamento Mecânico do Concreto Incorporado com Resíduos de Construção e Demolição – RCD.** 2018. 42 p. Monografia (AValiação do Comportamento Mecânico do Concreto Incorporado com Resíduos de Construção e Demolição – RCD - BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL)- Universidade Federal Rural do Semi-Árido, PAU DOS FERROS/RN, 2018.

RAMOS, Ricardo Ferreira ; GIONGO, José Samuel. **PILARES DE CONCRETO ARMADO SOB AÇÃO CENTRADA COM RESISTÊNCIA DO CONCRETO DE**

25MPa. São Carlos, 2005. Disponível em:
http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova-versao/pdf/cee27_59.pdf. Acesso em: 3 fev. 2019.

RECENA, A. P.; PEREIRA, F. M. **Produção e controle de concreto em obras**. In.: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 537-584.

REGOURD, M.M.; BOIKOVA, A. I. *Chemistry, Structure, properties and quality of clinker*. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, IX, 1992, Índia. *Anais*, Nova Délhi:ICCC, 1992, p. 3-45.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

SAMPAIO, Z. L. M. **Análise do comportamento mecânico de concreto produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades SP911049, RB92579 e PS816949**. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN,. 2013.

SANTOS, JOZIANI NUNES *et al.* **ANÁLISE DO LIMITE DE LIQUIDEZ DOS SOLOS DE MOSSORÓ-RN PARA FINS DA ENGENHARIA CIVIL**. Fortaleza-CE, 2015. Disponível em:
http://www.confea.org.br/media/Civil_analise_do_limite_de_liquidez_dos_solos_de_mossoro-rn_para_fins_da_engenharia_civil.pdf. Acesso em: 30 jan. 2019.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. **Argamassa com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. *Anais...* CD ROM. Florianópolis, 2005. p. 12-22.

SILVA, Sérgio Roberto ; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Sustentabilidade na indústria da construção civil: investigação da potencialidade de emprego de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e cinza volante em concretos**. [S. l.], 2017. Disponível em:
<http://www.revistaespacios.com/a17v38n27/a17v38n27p15.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

SILVA, VALDIRENE MARIA. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida**. São Carlos - SP, 2007. Disponível em:
http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2007DO_ValdireneMariaSilva.pdf. Acesso em: 4 fev. 2019.

VIANA, Valmir Soares; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO POR AGREGADO RECICLADO**. 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/4084>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

TANAKA, GRACIELE MAYRA; PINTO, MARIA CLARA CAVALINI. **Análise da utilização de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) da região metropolitana de Curitiba em argamassa de revestimento e na fabricação de blocos de concreto**. 2011. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7b/TCC_2011_Maria_e_Graciele.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

TRINDADE, Evandro. **Espectrometria de Fluorescência de Raios X**. 2016. Disponível em: <<https://quimicandovzp.com.br/espectrometria-de-fluorescencia-de-raios-x/>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

TSENG, E. **Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregado para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas**. **Dissertação de Mestrado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010, 220 p.

ZUCCA, Rafael et al. **USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO DESTINADO À CONFECÇÃO DE BLOCOS PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO**. 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/eng/uso%20de%20residuos.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

ANEXOS

ANEXO A: CONJUNTO DE VARIÁVEIS (POPULAÇÃO) – AMOSTRA 1

f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)
20,16	1,00%	22,60	45,00%	24,09	89,00%
20,46	2,00%	22,63	46,00%	24,15	90,00%
20,66	3,00%	22,65	47,00%	24,22	91,00%
20,80	4,00%	22,68	48,00%	24,29	92,00%
20,92	5,00%	22,71	49,00%	24,37	93,00%
21,02	6,00%	22,74	50,00%	24,46	94,00%
21,10	7,00%	22,76	51,00%	24,56	95,00%
21,18	8,00%	22,79	52,00%	24,67	96,00%
21,25	9,00%	22,82	53,00%	24,82	97,00%
21,32	10,00%	22,85	54,00%	25,01	98,00%
21,38	11,00%	22,88	55,00%	25,31	99,00%
21,44	12,00%	22,90	56,00%		
21,49	13,00%	22,93	57,00%		
21,54	14,00%	22,96	58,00%		
21,59	15,00%	22,99	59,00%		
21,64	16,00%	23,02	60,00%		
21,68	17,00%	23,05	61,00%		
21,72	18,00%	23,07	62,00%		
21,76	19,00%	23,10	63,00%		
21,81	20,00%	23,13	64,00%		
21,84	21,00%	23,16	65,00%		
21,88	22,00%	23,19	66,00%		
21,92	23,00%	23,22	67,00%		
21,95	24,00%	23,25	68,00%		
21,99	25,00%	23,29	69,00%		
22,02	26,00%	23,32	70,00%		
22,06	27,00%	23,35	71,00%		
22,09	28,00%	23,38	72,00%		
22,12	29,00%	23,41	73,00%		
22,16	30,00%	23,45	74,00%		
22,19	31,00%	23,48	75,00%		
22,22	32,00%	23,52	76,00%		
22,25	33,00%	23,55	77,00%		
22,28	34,00%	23,59	78,00%		
22,31	35,00%	23,63	79,00%		
22,34	36,00%	23,67	80,00%		
22,37	37,00%	23,71	81,00%		
22,40	38,00%	23,75	82,00%		
22,43	39,00%	23,79	83,00%		
22,46	40,00%	23,84	84,00%		
22,48	41,00%	23,88	85,00%		
22,51	42,00%	23,93	86,00%		
22,54	43,00%	23,98	87,00%		
22,57	44,00%	24,04	88,00%		

ANEXO B: CONJUNTO DE VARIÁVEIS (POPULAÇÃO) – AMOSTRA 2

f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)
20,59	1,00%	24,93	45,00%	27,60	89,00%
21,13	2,00%	24,98	46,00%	27,71	90,00%
21,47	3,00%	25,03	47,00%	27,83	91,00%
21,73	4,00%	25,08	48,00%	27,96	92,00%
21,93	5,00%	25,13	49,00%	28,09	93,00%
22,11	6,00%	25,18	50,00%	28,25	94,00%
22,27	7,00%	25,23	51,00%	28,43	95,00%
22,41	8,00%	25,28	52,00%	28,64	96,00%
22,54	9,00%	25,33	53,00%	28,89	97,00%
22,65	10,00%	25,38	54,00%	29,24	98,00%
22,76	11,00%	25,43	55,00%	29,77	99,00%
22,86	12,00%	25,48	56,00%		
22,96	13,00%	25,53	57,00%		
23,05	14,00%	25,58	58,00%		
23,14	15,00%	25,63	59,00%		
23,22	16,00%	25,68	60,00%		
23,30	17,00%	25,73	61,00%		
23,37	18,00%	25,78	62,00%		
23,45	19,00%	25,84	63,00%		
23,52	20,00%	25,89	64,00%		
23,59	21,00%	25,94	65,00%		
23,66	22,00%	26,00	66,00%		
23,72	23,00%	26,05	67,00%		
23,79	24,00%	26,10	68,00%		
23,85	25,00%	26,16	69,00%		
23,91	26,00%	26,22	70,00%		
23,97	27,00%	26,27	71,00%		
24,03	28,00%	26,33	72,00%		
24,09	29,00%	26,39	73,00%		
24,15	30,00%	26,45	74,00%		
24,20	31,00%	26,51	75,00%		
24,26	32,00%	26,58	76,00%		
24,31	33,00%	26,64	77,00%		
24,37	34,00%	26,71	78,00%		
24,42	35,00%	26,77	79,00%		
24,47	36,00%	26,84	80,00%		
24,53	37,00%	26,91	81,00%		
24,58	38,00%	26,99	82,00%		
24,63	39,00%	27,07	83,00%		
24,68	40,00%	27,14	84,00%		
24,73	41,00%	27,23	85,00%		
24,78	42,00%	27,31	86,00%		
24,83	43,00%	27,41	87,00%		
24,88	44,00%	27,50	88,00%		

ANEXO C: CONJUNTO DE VARIÁVEIS (POPULAÇÃO) – AMOSTRA 3

f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)	f_{ci} (MPa)	p (%)
0,79	1,00%	5,06	45,00%	7,69	89,00%
1,32	2,00%	5,11	46,00%	7,80	90,00%
1,66	3,00%	5,16	47,00%	7,91	91,00%
1,91	4,00%	5,21	48,00%	8,03	92,00%
2,11	5,00%	5,26	49,00%	8,17	93,00%
2,29	6,00%	5,31	50,00%	8,33	94,00%
2,44	7,00%	5,36	51,00%	8,50	95,00%
2,58	8,00%	5,40	52,00%	8,71	96,00%
2,70	9,00%	5,45	53,00%	8,96	97,00%
2,82	10,00%	5,50	54,00%	9,29	98,00%
2,93	11,00%	5,55	55,00%	9,82	99,00%
3,03	12,00%	5,60	56,00%		
3,12	13,00%	5,65	57,00%		
3,21	14,00%	5,70	58,00%		
3,30	15,00%	5,75	59,00%		
3,38	16,00%	5,80	60,00%		
3,46	17,00%	5,85	61,00%		
3,53	18,00%	5,90	62,00%		
3,60	19,00%	5,95	63,00%		
3,67	20,00%	6,00	64,00%		
3,74	21,00%	6,06	65,00%		
3,81	22,00%	6,11	66,00%		
3,87	23,00%	6,16	67,00%		
3,94	24,00%	6,22	68,00%		
4,00	25,00%	6,27	69,00%		
4,06	26,00%	6,33	70,00%		
4,12	27,00%	6,38	71,00%		
4,18	28,00%	6,44	72,00%		
4,23	29,00%	6,50	73,00%		
4,29	30,00%	6,56	74,00%		
4,34	31,00%	6,62	75,00%		
4,40	32,00%	6,68	76,00%		
4,45	33,00%	6,74	77,00%		
4,51	34,00%	6,81	78,00%		
4,56	35,00%	6,87	79,00%		
4,61	36,00%	6,94	80,00%		
4,66	37,00%	7,01	81,00%		
4,71	38,00%	7,08	82,00%		
4,77	39,00%	7,16	83,00%		
4,82	40,00%	7,24	84,00%		
4,87	41,00%	7,32	85,00%		
4,92	42,00%	7,40	86,00%		
4,96	43,00%	7,49	87,00%		
5,01	44,00%	7,59	88,00%		