



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VÍTOR SOUZA DE ABREU

**AValiação da Resistência de Concretos com Incorporações de
Pó de Pedra e Resíduo de Construção e Demolição (RCD)**

PAU DOS FERROS/RN
2019

VÍTOR SOUZA DE ABREU

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÕES DE
PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)**

Monografia apresentado pelo aluno **Vítor Souza de Abreu**, ao Colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Pau dos Ferros/RN, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. José Daniel Jales Silva –
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 tornar-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.

A162a ABREU, VÍTOR SOUZA DE.
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CONCRETOS COM
INCORPORAÇÕES DE PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) / VÍTOR SOUZA DE
ABREU. - 2019.
49 f. : il.

Orientador: JOSÉ DANIEL JALES SILVA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. SUSTENTABILIDADE. 2. RESÍDUO. 3.
CONSTRUÇÃO. I. SILVA, JOSÉ DANIEL JALES, orient.
II. 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.

VÍTOR SOUZA DE ABREU

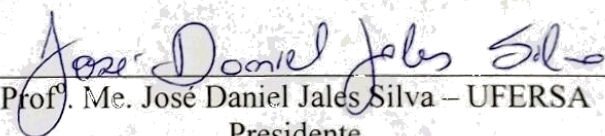
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÕES DE
PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Monografia apresentado pelo aluno **Vítor Souza de Abreu**, ao Colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Câmpus Pau dos Ferros/RN, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

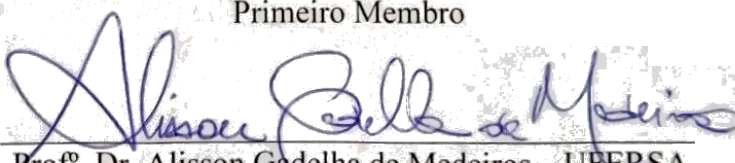
Orientador: Prof. Me. José Daniel Jales Silva – UFERSA

Aprovada em: 09 / 08 / 2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. José Daniel Jales Silva – UFERSA
Presidente


Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares – UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros – UFERSA
Segundo Membro

“Dar o melhor de si é mais importante
que ser o melhor.”

Mike Lerner

AGRADECIMENTO

Primeiramente quero agradecer a Deus pelas bênçãos que mim deste para chegar até aqui, com força, coragem e perseverança com a sua proteção.

Aos meus pais Valmir e Adriene, que me deram todo apoio e batalharam para que o sonho realizasse, aos meus irmãos por estarem felizes com a minha realização.

A toda a minha família que ajudaram de alguma forma para manter-me aqui, apoiando para que alcançasse meus objetivos.

Ao orientador Daniel pela confiança que foi colocada para que esse trabalho realizasse com dedicação, e pelo conhecimento absorvido durante este período sempre apoiando e aconselhando para o melhor. Ao Jennef Tavares que incentivou, apoiou e ajudou, mostrando as informações pertinentes para que a pesquisa realizasse.

Ao meu amigo Celson Holanda que mim deu todo apoio e incentivo mostrando o melhor e acreditando que era capaz de realizar este trabalho.

A todos os amigos, colegas, colaboradores da universidade que ajudaram de forma direta ou indireta realizando esse sonho.

Agradeço a tudo e a todos por ter chegado até aqui, superando obstáculos durante a jornada, mais com a certeza de chegar ao que te proporciona à felicidade.

RESUMO

Estudos voltados a compreender e tentar explicar a incorporação de novos materiais no concreto tem se tornado frequente nas literaturas encontradas. Pois, o ramo da construção é considerado como um dos grandes consumidores de recursos naturais em todo o mundo. Visando a busca pela sustentabilidade, as pesquisas atuais têm focado na reciclagem e reutilização desses resíduos. Nesse contexto, o foco desta pesquisa se concentra na incorporação do pó de britagem e resíduo de construção e demolição – RCD como substituição na parcela dos agregados miúdo e graúdo respectivamente. Adiante, ensaios de caracterização dos materiais como o de granulometria, massa específica e unitária foram realizados, utilizando a substituição dos materiais de 5%, 10% e 15% de RCD e 10% do pó de pedra no concreto. Em seguida se deu a confecção dos corpos de prova de concreto, sendo analisado no seu estado fresco e endurecido através de ensaios físicos (slump test e massa específica) e mecânicos (resistência à compressão). Por fim, os principais resultados mostraram que o concreto com 5% de RCD e 10% de PP mostrou uma boa qualidade e alternativa para ser empregado no mercado, tendo todos os resultados de consistência consideráveis como trabalháveis e avaliados os teores que obtiverem melhores resultados.

Palavras-chave: Pó de britagem. Substituição. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Studies aimed at understanding and trying to explain the incorporation of new materials in concrete have become frequent in the literature found. For, the construction industry is considered as one of the major consumers of natural resources in the world. Aiming at the search for sustainability, current research has focused on recycling and reuse of these wastes. In this context, the focus of this research focuses on the incorporation of crushing dust and construction and demolition waste - Construction Waste Demolition as a substitution in the fine and coarse aggregates respectively. Ahead, characterization tests of materials such as particle size, specific mass and unit were performed, using the replacement of 5%, 10% and 15% Construction Waste Demolition and 10% of stone dust in concrete. Then the concrete specimens were made, being analyzed in their fresh and hardened state through physical (slump test and specific mass) and mechanical (compressive strength) tests. Finally, the main results showed that the concrete with 5% Construction Waste Demolition and 10% Rock Powder Showed a good quality and alternative to be used in the market, with all the results of consistency considered as workable and the grades that obtained the best results were evaluated.

Keywords: Crushing powder. Replacement. Sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento Portland.....	20
Tabela 2 – Proporção da dosagem para concreto.....	30
Tabela 3 – Quantidade de CP's por traço.....	31
Tabela 4 – Quantidade de material utilizado na produção dos concretos.....	32
Tabela 5 – Resultados da caracterização do cimento.....	37
Tabela 6 – Resultados da caracterização dos agregados miúdos.....	37
Tabela 7 – Resultados da caracterização dos agregados graúdos.....	38
Tabela 8 – Resultados do ensaio de consistência (Slump test).....	38
Tabela 9 – Trabalhabilidade no abatimento de tronco de cone.....	39
Tabela 10 – Resultados do ensaio de massa específica fresca.....	40
Tabela 11 – Resistência à compressão das amostras de concreto.....	41
Tabela 12 – Resistência média à compressão das amostras de concreto.....	42
Tabela 13 – Resultados do ensaio de absorção aos 28 dias.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação dos resultados do slump test.....	39
Gráfico 2 – Desvio padrão da resistência média à compressão.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção polida de um corpo de prova de concreto.....	18
Figura 2 – Fluxograma da pesquisa.....	26
Figura 3 – Pó de Pedra.....	29
Figura 4 – Agregado reciclado de RCD.....	30
Figura 5 – Moldes metálicos lubrificados.....	32
Figura 6 – Corpos de prova e cura do concreto.....	33
Figura 7 – Ensaio de Slump Test.....	34
Figura 8 – Equipamentos do ensaio de Slump Test.....	34
Figura 9 – Prensa para ensaio de compressão.....	35

LISTA DE SIGLAS

UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi Árido
RN	Rio Grande do Norte
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
PP	Pó de Pedra
CP	Corpo de Prova
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma Mercosul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivo Específico.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1. CONCRETO.....	17
3.2. TIPOS DE CONCRETO.....	18
3.3. MACROESTRUTURA E MICROESTRUTURA DO CONCRETO.....	18
3.4. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO.....	19
3.4.1. AGLOMERANTES.....	19
3.4.2. AGREGADOS.....	20
3.4.3. ADITIVOS.....	21
3.4.4. ADIÇÕES MINERAIS.....	22
3.5. RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	23
3.6. PÓ DE PEDRA (PP).....	24
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. LOCAL DA PESQUISA.....	27
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	27
4.2.1. CIMENTO.....	27
4.2.2. AGREGADO MIÚDO – AREIA.....	28
4.2.3. AGREGADO MIÚDO – PÓ DE PEDRA.....	28
4.2.4. AGREGADO GRAÚDO – BRITA.....	29
4.2.5. AGREGADO GRAÚDO – RCD.....	29
4.2.6. ÁGUA.....	30
4.3. DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	30
4.3.1. ESCOLHA DO TRAÇO E DOSAGEM.....	30
4.3.2. QUANTITATIVO DE MATERIAIS.....	31
4.3.3. PRODUÇÃO DO CONCRETO COM MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA E CURA.....	32
4.4. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	33
4.4.1. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST).....	33
4.4.2. ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA.....	34

4.5. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	34
4.5.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	34
4.5.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO.....	35
5. RESULTADOS.....	37
5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	37
5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO.....	37
5.1.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO.....	37
5.1.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO.....	38
5.2. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST) E MASSA ESPECÍFICA.....	38
5.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	40
5.4. ENSAIO DE ABSORÇÃO.....	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

O início da revolução industrial foi um marco para o crescimento populacional junto às cidades e para uma acelerada expansão urbana. Sendo que o desenvolvimento na construção civil acompanhou o avanço urbano e desse modo, tornou-se preocupante em consequência ao alto consumo de recursos naturais e elevada geração de resíduos sólidos, tornando este setor bastante prejudicial ao meio ambiente. Pontos importantes como áreas de descarte, limpeza urbana, gerenciamento dos resíduos produzidos e reciclagem dos resíduos gerados, ainda são esquecidos e pouco executados.

A indústria da construção civil é responsável pelo consumo de grande quantidade de recursos naturais em todo o mundo. Estima-se que cerca de 40% de todos os recursos extraídos da natureza seja proveniente desse setor (Kulatunga et al., 2006). Contudo, uma grande quantidade de perdas e os processos de beneficiamento fazem dessa indústria, uma grande produtora de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

A produção de agregados sejam eles, miúdos ou graúdos exige a exploração de regiões como leitos de rios e terras na qual são encontradas rochas calcárias ou graníticas, com diversos impactos negativos já reconhecidos. O pó de pedra gerado nas operações de corte e trituração dos blocos de rocha para fabricação de agregados é estocado nos pátios das pedreiras e, em função de ser um material pulverulento, acaba contaminando o solo e ar desses locais.

No Brasil, estima-se que a produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), apesar de variável e ter correlação com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), é superior a 70 milhões de toneladas por ano (cerca de 500 kg/habitantes a cada ano), representando mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (CONTRERAS et al., 2016).

Nesse sentido, a incorporação de resíduos de construção civil de outra forma, é uma boa opção para uma diminuição da utilização e do consumo desordenado dos recursos naturais e consequentemente dos impactos causados por esses materiais, visando uma grande quantidade de resíduos descartados.

Portanto, estudos voltados para essa temática tem se tornado relevantes, descobrindo o aproveitamento e reciclagem desses resíduos de construção como incorporadores no concreto, sejam eles agregados ou aglomerantes, a fim de proporcionar um novo destino, reduzindo assim, custos, melhorando suas propriedades mecânicas, desempenho e suas aplicações de mercado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Tem como objetivo realizar um estudo das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com a incorporação de pó de pedra e resíduos de construção e demolição (RCD) obtidos na região de Pau dos Ferros/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização física dos materiais empregados;
- Avaliar a influência da incorporação do pó de pedra e RCD nas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido;
- Encontrar dentre os teores estudados de RCD e o pó de pedra, os melhores para produção dos concretos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCRETO

O material de construção mais utilizado no mundo é o concreto, principalmente em conjunto com o aço, formando o concreto armado. Este material é amplamente conhecido e bem utilizado, por projetistas, construtores e operários, pois é a opção mais versátil e economicamente viável para construções dos mais variados tipos (TUTIKIAN; ISAIA e HELENE, 2011). Em função de sua fácil moldagem e execução em uma variedade de tamanhos e formas, durabilidade, alta disponibilidade e baixo custo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De acordo com Ribeiro (2002), o concreto pode ser entendido como uma mistura composta de cimento, agregados e água, havendo ou não a incorporação de algum tipo de aditivo que irá influenciar em seu desempenho. Análogo a isso pode-se conter ainda materiais incorporados ao concreto, visando a substituição ou acréscimo de material junto a quantidade de cimento na composição, sendo este material incorporador denominado de adição.

Na atualidade, a segurança e economia tornou um grande avanço na área em utilizar o concreto nas grandes obras. Suas propriedades, tanto no estado fresco quanto endurecido, já são bastante pesquisadas e conhecidas, permitindo seu emprego nos mais diversos tipos de estruturas (GIAMUSSO, 1992). O maior desafio que se encontra é o de aumentar a durabilidade dessas estruturas, bem como restaurar estruturas danificadas e compreender os mecanismos físicos e químicos dos cimentos e concretos (KAEFER, 1998).

Entretanto, o concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, agregados de concreto reciclado, polímeros, fibras, entre outros (NEVILLE e BROOKS, 2013). A quantidade desses materiais entre os diversos constituintes é determinada de acordo com as propriedades a serem atendidas, como às propriedades mecânicas, físicas, de durabilidade e a trabalhabilidade necessária para o transporte, lançamento e adensamento desse material (HELENE e ANDRADE, 2010).

3.2 TIPOS DE CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o uso de forma apropriada de resistência de cimentos e concreto é prática comum na Europa e muitos outros países, mas não ocorre como em países dos Estados Unidos e Brasil. De qualquer forma, para destaque das diferenças relevantes relativas às propriedades da microestrutura, a qual será discutida mais adiante, cabe dividir essa propriedade em três categorias gerais com base na resistência à compressão:

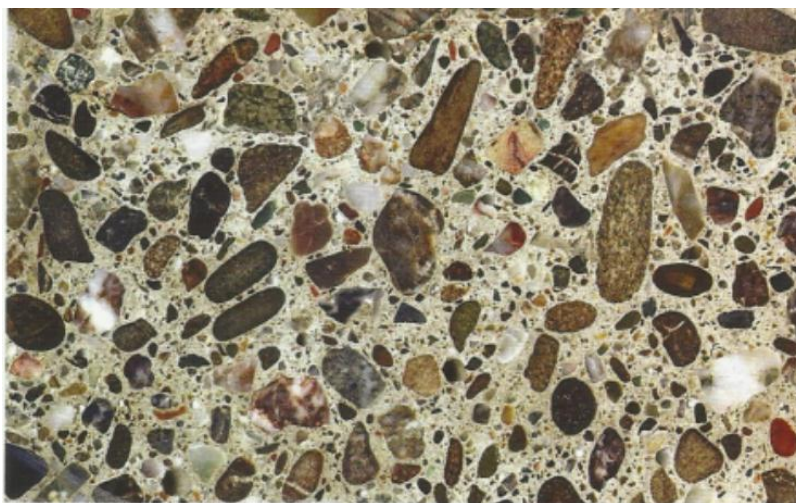
- Concreto de baixa resistência: menos de 20 MPA;
- Concreto de resistência moderada: de 20 MPA a 40 MPA;
- Concreto de alta resistência: mais de 40 MPA.

Concreto de moderada resistência, também chamado de concreto normal ou comum, é usado para a maioria das obras estruturais. Concreto de alta resistência é usado para aplicações especiais (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.3 MACROESTRUTURA E MICROESTRUTURA DO CONCRETO

Para compreender a estrutura desse compósito, é preciso analisar em nível de macroestrutura e saber identificar o que existe, referindo-se as duas fases que podem ser facilmente vistas entre si, sendo elas: o meio ligante composto de uma pasta de cimento endurecido e as partículas de agregado com formas e tamanhos variados. Desse modo, o concreto pode ser considerado como um material bifásico, como mostra a figura 1 (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 1: Seção polida de um corpo de prova de concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Quanto a nível microscópico, as complexidades da microestrutura do concreto são evidentes. Torna-se perceptível que as duas fases da microestrutura não são distribuídas de forma homogênea entre elas, nem elas mesmas são homogêneas entre si. Por exemplo, em algumas áreas do concreto, a massa de pasta de cimento hidratada aparenta ser tão denso quanto o agregado, enquanto que em outras ela é altamente porosa. É possível observar que além das duas fases, existe uma terceira fase chamada zona de transição que está entre a pasta de cimento e os agregados (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Esta zona, geralmente, é mais fraca do que a pasta de cimento hidratada e o agregado e possui bastante influência no comportamento mecânico do concreto (NEVILLE, 1997).

Além disso, se diversos corpos de prova contiverem a mesma quantidade de cimento, mas com diferentes quantidades de água, e forem examinados em vários intervalos de tempo, poderá ser observado que, em geral, o volume de vazios capilares na pasta de cimento hidratado diminui com a redução da relação água/cimento ou com o aumento da idade da hidratação (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto, como falado anteriormente e apresentado é composto por misturas de diferentes materiais. Que devem ser analisados separadamente, pois são eles que influência na qualidade do concreto, visando suas propriedades físicas e químicas.

3.4.1 AGLOMERANTES

Os aglomerantes podem ser definidos como materiais empregados no ramo da construção civil para incorporar ou aglomerar outros materiais entre si. Geralmente são materiais em forma de pó, também chamados de pulverulentos que, misturados com a água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem ou devido à ocorrência de reações químicas (HAGEMANN, 2011). Alguns aglomerantes podem ser encontrados no mercado que são utilizados para os mais diversos tipos de aplicação, para o estudo em questão o aglomerante que será empregado é o cimento.

O cimento é um tipo de material seco, pulverizado, que por si só não é um aglomerante, mas desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação. O cimento hidráulico é considerado quando os produtos da hidratação se mantem estáveis no ambiente aquoso. O mesmo, mais comumente usado para fazer concreto é o cimento

Portland, que consiste essencialmente de silicatos reativos de cálcio. Silicatos de cálcio hidratados formados durante a hidratação do cimento Portland são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis no ambiente aquoso (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Giamusso (1992), vem apresentar de acordo com seus estudos como acontece o processo de trabalho do cimento a partir dos seus constituintes como principal os 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 vem a depender do tipo de cimento, na qual pode ser classificado segundo a ABCP (2002), como:

Tabela 1: Tipos de cimento Portland

Sigla	Denominação
CP I	Portland Comum
	Portland Comum com adição de Fíller Carbonático
CP I-S	Portland Comum com adição de Escória ou Pozolana
CP II-E	Portland Composto com Escória
CP II-Z	Portland Composto com Pozolana
CP II-F	Portland Composto com Fíller
CP III	Portland de Alto-Forno
CP IV	Portland Pozolânico
CPV-ARI	Portland de Alta Resistência
	Inicial
CPB	Portland Branco
	Portland de Baixo Calor de Hidratação
BC	
*Todavia, cada tipo de cimento citado acima é redigido por uma norma da ABNT.	

Fonte: ABCP (2002).

3.4.2 AGREGADOS

Para Mehta e Monteiro (2008), agregado pode ser entendido como um material granular, como a areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para

produzir concreto ou argamassa. Já a NBR 7211/2009, diz que os agregados são grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, que não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que afetem a hidratação e o endurecimento do cimento, a durabilidade, a proteção da armadura contra a corrosão, ou, que afete o aspecto visual externo do concreto.

Os agregados ainda apresentam uma grande importância para a qualidade do concreto no que se diz respeito a sua resistência, durabilidade e parâmetros de segurança durante as fases no estado fresco, endurecido e vida útil. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), afirmam que a quantidade de água acumulada junto à superfície dos agregados são influenciados pela dimensão e a forma dos mesmos, alterando a resistência da zona de transição e conseqüentemente do concreto. As partículas alongadas, achatadas e grandes tendem a acumular mais água, causando o fenômeno de exsudação interna que enfraquece a zona de transição.

Quanto às dimensões do agregado, de acordo com a NBR 7211/2009, agregados miúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e agregado graúdo são cujos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

A forma e a textura superficial das partículas do agregado influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que as no estado endurecido. As partículas de textura áspera, angulosas e alongadas necessitam de mais pasta de cimento, comparado às partículas lisas e arredondado, para produzir misturas de concreto trabaláveis e, portanto, o custo aumenta (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.4.3 ADITIVOS

Giamusso (1992), explica que os aditivos são produtos químicos usados em pequenas quantidades no concreto com o intuito de melhorar as propriedades desta mistura durante o estado fresco e no estado endurecido e adequá-los a determinadas condições. São usados para uma melhor trabalhabilidade nas suas características de manuseio, resistências a solicitações físicas e químicas, ou ainda para torná-los mais econômicos e duráveis.

Essas melhorias integram o manuseio do material em situações em que antes as dificuldades consideráveis eram existentes ou difíceis de serem resolvidas. Podem ser definidos como produtos químicos que, exceto em casos especiais, é adicionado ao

concreto em quantidades máximas de 5%, em relação à massa de cimento, podendo ser utilizados no estado sólido ou líquido (NEVILLE, 2015).

A ABNT através da NBR 11768/2011, estabelece a classificação a seguir para os aditivos:

- Plastificante (tipo P): Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada resistência;
- Retardador (tipo R): Aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto;
- Acelerador (tipo A): Diminui os tempos de início e fim de pega do concreto e acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;
- Plastificante retardador (tipo PR): Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardadores;
- Plastificante acelerador (tipo PA): Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e aceleradores;
- Incorporador de ar (tipo IAR): Incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto;
- Superplastificante (tipo SP): Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência;
- Superplastificante retardador (tipo SPR): Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador;
- Superplastificante acelerador (tipo SPA): Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

3.4.4 ADIÇÕES MINERAIS

As adições minerais são materiais que são adicionados ou substituídos no concreto em grandes proporções com o intuito de que suas propriedades sejam melhoradas. Além da redução de custo e do ganho de trabalhabilidade no estado fresco, elas podem melhorar a resistência à fissuração térmica, à expansão causada pela reação álcali-agregado e ao ataque por sulfato (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Moraes (2012) ressalta que devido os aditivos minerais terem às suas propriedades semelhantes a do cimento, estes têm o objetivo de adicionar ou substituir o

cimento, já os aditivos químicos alteram as características do cimento, sem alterar sua proporção.

Algumas das principais adições minerais são listadas por Mehta e Monteiro (2008) de acordo com suas propriedades:

- Cimentantes: Escória granulada de alto forno;
- Superpozolanas: Sílica ativa, metacaulim e cinzas de casca de arroz;
- Pozolanas comuns: Cinzas volantes com baixo teor de cálcio, argilas calcinadas e materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar);
- Pozolanas pouco reativas: Escória de alto forno resfriada lentamente, cinzas de forno, escória de caldeira e palha de arroz queimada em campo;
- Adições Inertes (filler): Calcário, pó de cálcio e pó de pedra.

3.5 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são materiais gerados durante toda a vida útil da construção: execução, manutenção, reforma, desocupação e demolição (CASSA et al., 2001), considerando que a grande maioria dos resíduos de construção civil (RCC) são provenientes destas atividades. Esses resíduos, comumente chamados de entulho, material de aterro, são geralmente, considerados como material inerte, constituindo, quase sempre, a maior parcela dos resíduos sólidos urbanos (CARNEIRO et al., 2001).

Por sua vez, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 207 de 5 de julho de 2002, atribui aos RCD's quatro classes que vem a classificar 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 desenvolvidos 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.

Daí torna-se importante a realização adequada da triagem e separação dos RCD no canteiro de obra e nas usinas de reciclagem, de modo a obter apenas resíduos pertencentes à Classe A, visto que os materiais contaminantes, segundo John e Agopyan (2000), afetam a qualidade técnica do produto contendo o reciclado, como riscos ambientais significativos.

Assim, reciclar os resíduos de construção e demolição torna-se viável do ponto de vista técnico e ambiental, apesar dos riscos de contaminação ambiental por este tipo de reciclagem ser considerado baixo, sendo necessário um controle mínimo, especialmente quando se trata de RCD's provenientes de instalações industriais (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Neste contexto, os RCD's utilizados como agregados podem substituir agregados naturais ou britados, todavia, a caracterização previa do sedimento reciclado deve ser feita, bem como as propriedades do agregado natural e o RCD devem ser analisadas e corrigidas quando necessário, tornando o produto final o mais próximo dos similares na indústria de construção (TANAKA e PINTO, 2011).

3.6 PÓ DE PEDRA (PP)

O pó de pedra é caracterizado como um pó fino, proveniente da rocha calcária. Pode ser classificado como calcítico ou dolomítico, dependendo de sua composição química. O calcário é aquele em que predomina a calcita, mineral composto basicamente de carbonato de cálcio (CaCO_3). O calcário dolomítico, por sua vez, é gerado a partir substituição de parte do cálcio existente na calcita, por magnésio, formando a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), num processo chamado de dolomitização (DANA, 1993).

A maior utilidade do calcário calcítico está na produção do cimento Portland, que possui 75% de carbonato de cálcio em sua composição. No caso do calcário dolomítico, uma importante aplicação se dá na correção da acidez dos solos, devido ao teor de óxido de magnésio (MgO), que é superior a 12% (DOLOMITA DO BRASIL, 2005). Em contra partida, este alto teor de magnésio constitui um comprometimento com relação à utilização deste pó dolomítico em concreto, por prejudicar a durabilidade

em função do risco de ocorrer reação álcali-carbonato e expansão (EFNARC, 2002; NEVILLE, 1997).

De acordo com Bosiljkov (2003) nas pastas de cimento mostra ainda que, com o aumento no teor de substituição do pó de pedra, em relação ao cimento, de 25 para 50%, há Sonebi et al. (2003) indicam que, a incorporação de elevadas quantidades deste material, pode também diminuir a ocorrência de exsudação no concreto, tempo em que a mesma observação foi feita por Peterson (1999), em relação à segregação.

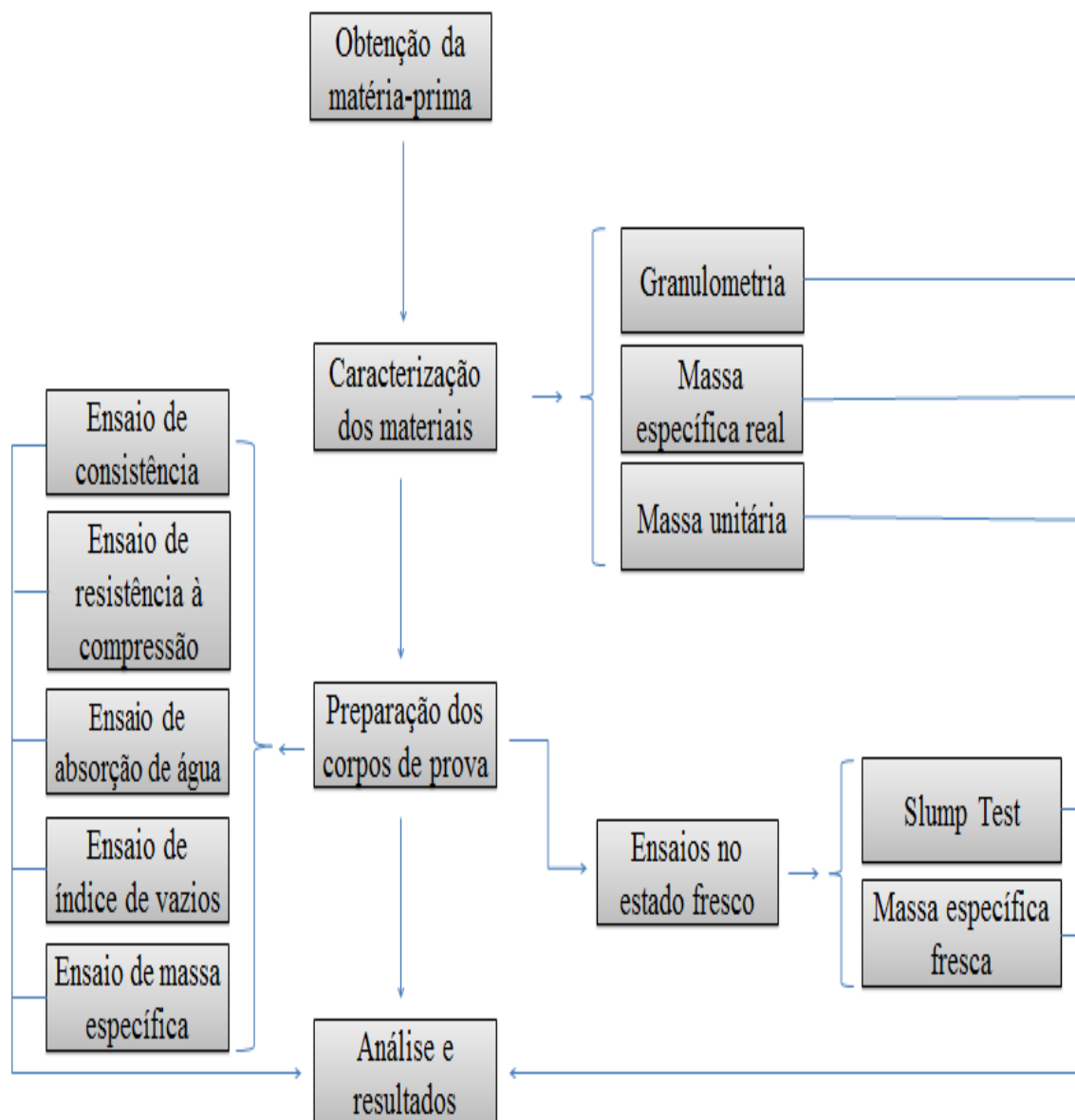
Em seu estudo, Esping (2003) demonstrou que, mantendo-se constante o teor de água das misturas com diferentes porcentagens do pó de pedra, quanto mais fino for, há necessidade de se empregar um maior teor de aditivo plastificante para que sejam atingidas as mesmas características de deformabilidade (trabalhabilidade). Isto também ocorre devido à pequena ou falta de manutenção de fluidez provocada por este pó de pedra, que deve ser combatida pelo aumento no teor de aditivo (DOMONE; JIN, 1999).

4 METODOLOGIA

A seguir, serão descritos os métodos utilizados na pesquisa, assim como, os materiais apresentados que visam atender os objetivos propostos anteriormente.

Portanto, a metodologia utilizada para a avaliação da resistência de concretos, obedeceu quatro etapas, desde a obtenção da matéria-prima, passando pela fase de caracterização desse material e preparo dos corpos de prova, até a etapa de análise dos resultados, como mostra o fluxograma apresentado abaixo na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.1. LOCAL DA PESQUISA

A matéria-prima utilizada foi obtida em locais diferentes, o pó de pedra foi coletado numa usina de britagem na cidade do Encanto (RN) e o RCD numa usina de reciclagem deste tipo de material na cidade de Natal (RN). Todas as matérias foram colhidas por sacos rafia de 50kg, sendo coletado material suficiente para realização desse estudo.

A realização da pesquisa ocorreu na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), na cidade de Pau dos Ferros no estado do Rio Grande do Norte (RN), bem como a caracterização dos materiais, a execução dos traços analisados e a confecção dos corpos de prova - CP, na qual todos os equipamentos e ensaios realizados no laboratório da própria universidade, ensaios esses de consistência e massa específica no estado fresco e os ensaios de resistência à compressão e absorção de água no estado endurecido.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais é uma das primeiras etapas para se obter as propriedades de cada material, obedecendo as normas que nelas são regidas.

Um dos ensaios realizados inicialmente foi a granulometria dos materiais, de acordo com os procedimentos descritos na NBR 248/2003, juntamente com os ensaios de massa específica real e unitária que também são descritas pelas normas NBR NM 53/2009 e na NBR NM 45/2006, respectivamente, buscando a qualidade desse material na utilização de concretos.

Em seguida, a moldagem dos corpos de provas foi realizada durante o processo de execução, utilizando a NBR 5738/16, visando à moldagem e cura de prova de forma apropriada. Posteriormente, uma análise da resistência mecânica do ensaio de compressão foi conduzida, seguida através da NBR 5739/18, obtendo a resistência à compressão. Por fim, foi realizada uma análise acerca dos dados coletados e uma discussão dos resultados obtidos.

4.2.1. CIMENTO

Para a realização das amostras de concreto, foi utilizado o cimento Portland CP-II E 32, que contém em sua composição adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação. Seu uso, de certa forma, é mais

apropriado em lançamentos de maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Ele também tem uma propriedade que é de resistir ao ataque de sulfatos contidos no solo.

A escolha deste tipo de cimento se deu pelo fato dele ser comum, sendo um dos mais utilizados no mercado local e encontrados facilmente. É recomendado para obras corriqueiras da engenharia sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e outras utilidades empregadas. Este tipo de cimento foi adquirido na cidade de Pau dos Ferros (RN), e suas características como a massa específica foi informada pelo fabricante na própria embalagem do produto.

4.2.2. AGREGADO MIÚDO – AREIA

Como agregado miúdo, foi utilizada uma areia natural fornecida por um engenheiro da cidade de Pau dos Ferros (RN), que informou se tratar de uma areia de granulometria média, contudo, verificações foram realizadas a fim de obter suas características e seu acondicionamento se deu em recipientes plásticos.

Para a obtenção dessas características, utilizaram-se as normas NM 52/2009, NBR NM 45/2006 e NBR 248/2003 estabelecendo os métodos de determinação da massa específica real, da massa unitária e granulometria, respectivamente. Vale salientar que foram utilizados duas amostras para cada ensaio.

4.2.3. AGREGADO MIÚDO – PÓ DE PEDRA

A escolha deste tipo de material se deu devido à busca de novos constituintes para incorporação no concreto, supondo baixa interferência na resistência à compressão desse compósito, afim também de diminuir os impactos causados pelo descarte deste material, o qual este processo chama-se de sustentabilidade. Suas propriedades foram aferidas levando em consideração os requisitos da norma ABNT NBR 7211/2009 - Agregados de Concreto.

A incorporação deste material foi de 10% para o traço proposto em substituição na parcela de areia. A caracterização obedeceu às normas de granulometria, massa específica e massa unitária para agregados miúdos, também considerando duas amostras para cada método. A Figura 3 ilustra o pó de pedra proveniente dos cortes de pedras em usinas de britagem.

Figura 3: Pó de Pedra



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.2.4. AGREGADO GRAÚDO – BRITA

Como agregado graúdo, foi utilizado uma brita fornecida também por um engenheiro da cidade de Pau dos Ferros (RN), material este que tem a propriedade como parcela para a resistência do concreto. Ensaios foram realizados a fim de obter suas características e seu acondicionamento ocorreu em recipientes plásticos.

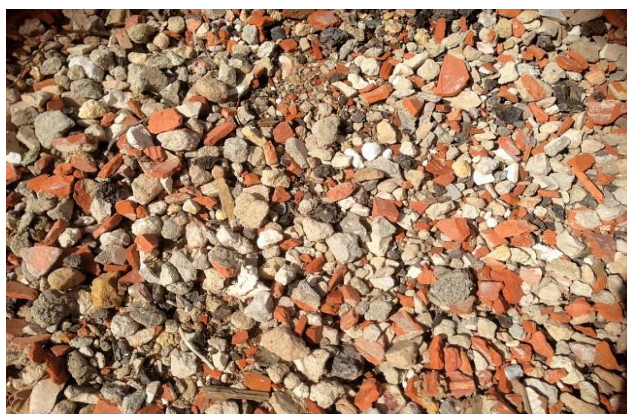
Para a obtenção dessas características, utilizaram-se as normas NBR NM 53/2009, NBR NM 45/2006 e NBR 248/2003 estabelecendo os métodos de determinação da massa específica real, da massa unitária e granulométrica, respectivamente.

4.2.5. AGREGADO GRAÚDO – RCD

O resíduo de construção e demolição foi obtido pela usina de reciclagem na cidade de Natal (RN), na qual é composto por um conjunto de materiais provenientes de construções, como concreto, brita, cerâmicas, gesso, tijolos, dentre outros. E esses pertencentes à Classe A da resolução do CONAMA 307/2002, isto é, são potencialmente recicláveis como agregados. Tomando como base a ABNT NBR 248/2003 - Agregados de Concreto.

A incorporação deste material obedece ao teor de porcentagem que se deseja inserir para cada traço proposto, sendo uma compensação na parcela de brita. A caracterização obedece às normas de granulometria, massa específica e massa unitária, todas para agregado graúdo, também considerando duas amostras para cada método. A figura 4 ilustra o RCD reciclado dos materiais de construção.

Figura 4: Agregado reciclado de RCD



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.2.6. ÁGUA

A água de amassamento utilizada para a confecção das amostras de concreto foi obtida da própria rede de abastecimento do local.

4.3. DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

4.3.1. ESCOLHA DO TRAÇO E DOSAGEM

No sentido de analisar e avaliar o desempenho e as propriedades do concreto com a incorporação de materiais como RCD e pó de pedra na sua matriz, definiu-se um traço referência em massa 1: 1,65: 2,67 (cimento, areia e brita) com uma relação de água/cimento de 0,5, na qual foi utilizado o método da ABCP. A partir do traço referencial foram definidos os outros traços de concreto com a mesma relação água cimento. Então, foi definido para esta pesquisa que o concreto apresentaria um f_{ck} de 25 MPa. Abaixo, a tabela 2 mostra especificada a dosagem utilizada na pesquisa.

Tabela 2: Proporção da dosagem para concretagem

PROPORÇÃO DO TRAÇO UTILIZADO				
Materiais	Cimento	Areia	Brita	A/C
Traço em massa	1	1,65	2,67	0,5

Fonte: Autoria Própria (2019).

Nesta pesquisa foi utilizado um traço referência com 0% de incorporações, outro apenas pó de pedra no teor de 10% e os demais em mistura binária substituindo 5%,

10% e 15% de RCD em massa. Esses teores foram escolhidos em razão das constatações de outras pesquisas que utilizaram materiais semelhantes, visando assim, uma comparação dos resultados obtidos e um entendimento da influência do resíduo nas características de resistência do concreto. Por conseguinte, vale salientar que o traço escolhido para dosagem dos CP's seguiu dados obtidos da caracterização dos materiais.

4.3.2. QUANTITATIVO DE MATERIAIS

De acordo com a definição da quantidade de ensaios a ser realizados, obteve-se a quantidades de CP's necessários, análogo a isso, verificou-se o quantitativo de cada material para a confecção das amostras. A Tabela 3 apresenta um resumo das formulações estudadas.

Tabela 3: Quantidade de CP's por traço

Amostras	Nº de CP's	Condição
Ref.	29	Utiliza o traço normal (referência)
PP10	29	10% de PP da quantidade de areia
PP10RCD5	29	5% de RCD da quantidade de brita e 10% de PP da quantidade de areia
PP10RCD10	29	10% de RCD da quantidade de brita e 10% de PP da quantidade de areia
PP10RCD15	29	15% de RCD da quantidade de brita e 10% de PP da quantidade de areia

Fonte: Autoria Própria (2019).

Definido o quantitativo de corpos de prova e incluso o massa necessário para execução dos ensaios de consistência e massa específica do concreto, foi possível estimar o volume de material necessário. As amostras de concreto constituem-se de corpos de prova de forma cilíndrica com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, tendo um volume de $0,00157 \text{ m}^3$. Com uma quantidade de 29 CP's para cada traço e o ensaio do *Slump Test* que precisa de um volume de $0,005495 \text{ m}^3$ concreto, a produção total do volume de concreto para cada traço foi de $0,051025 \text{ m}^3$.

Por fim, majorou-se a quantidade de materiais a serem utilizados em 10%, visando imprevistos durante o processo de moldagem dos CP's. A Tabela 4 mostra a quantidade total de materiais empregados para cada traço, como citado anteriormente.

Tabela 4: Quantidade de material utilizado na produção dos concretos

Concreto	Quantidade de materiais (Kg)					
	Cimento	Areia	Brita	Água	RCD	Pó de Pedra
Ref.	24	39,63	64,17	12	0	0
PP10	24	35,67	64,17	12	0	3,96
PP10RCD5	24	35,67	60,21	12	3,21	3,96
PP10RCD10	24	35,67	57,76	12	6,41	3,96
PP10RCD15	24	35,67	54,54	12	9,63	3,96

Fonte: Autoria Própria (2019).

4.3.3. PRODUÇÃO DO CONCRETO COM MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA E CURA

A produção de concretos para cada traço ocorreu ao lado do laboratório da universidade, num local concretado, porém, o mesmo foi umedecido evitando que parte da água de amassamento fosse absorvida, na qual se seguiu as diretrizes propostas pela ABNT NBR 5738:2016 que rege todos os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Vale salientar que todo o concreto foi executado de forma manual no próprio piso, devido à quantidade de material por traço ser considerável e pelo fato de o laboratório da universidade não dispor de uma betoneira mecânica.

Na realização do concreto, utilizou-se de equipamentos para mistura e homogeneização do material, como colher de pedreiro, pá, inchada. Pesados todos os materiais, foram colocados areia, pó de pedra e cimento para mistura, posterior a isso, inseriu-se a brita e água para completar o traço e tornar o concreto fluido.

Portanto, a moldagem dos corpos de prova ocorreu em recipientes cilíndricos metálicos com dimensões conhecidas, na qual os mesmos passaram por uma limpeza prévia, utilizando-se desmoldante, como pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5: Moldes metálicos lubrificados



Fonte: Holanda (2019).

Por fim, moldaram-se os concretos realizados em duas camadas com adensamento de 12 golpes com uma haste metálica para cada camada, conforme a ABNT NBR 5738:2016. Posterior a isso, os concretos foram mantidos no interior do laboratório, decorridas 24 horas nos moldes, os corpos de prova foram desmoldados e colocados para a cura em água até o tempo de realização dos ensaios, de acordo com a Figura 6 abaixo.

Figura 6: Corpos de prova e cura do concreto



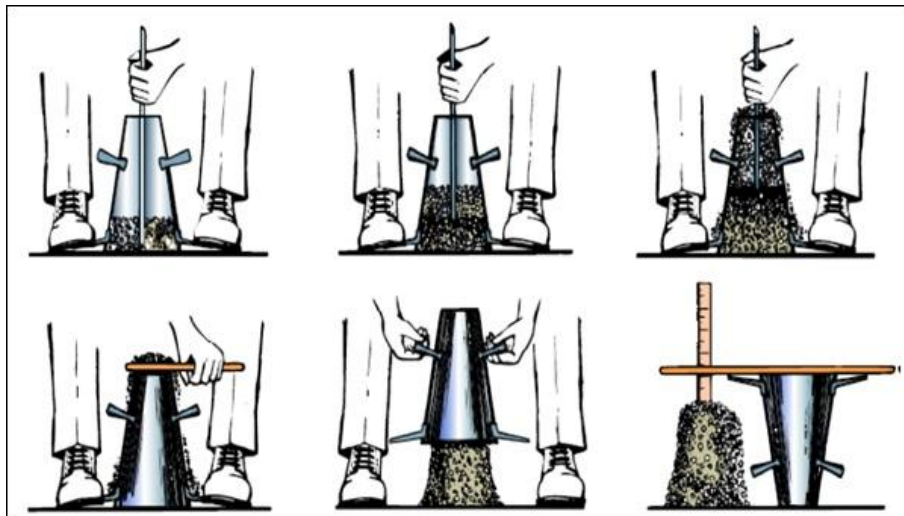
Fonte: Autoria Própria (2019).

4.4. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.4.1. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)

Com o intuito de determinar a consistência e trabalhabilidade do concreto no estado fresco realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone ou *slump test* como é conhecido, obedecendo os procedimentos descritos na NBR NM 67/1998. Um cone é preenchido por três camadas iguais de concreto, sendo adensadas com aplicação de 25 golpes em cada camada. Retira-se o cone e mede-se o quanto ele foi abatido (Figura 7). A Figura 8 mostra o equipamento utilizado nesse ensaio.

Figura 7: Ensaio de Slump Test



Fonte: Meia Colher (2018).

Figura 8: Equipamentos do ensaio de Slump Test



Fonte: 123RF (2019).

4.4.2. ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA

O ensaio de massa específica foi realizado durante a concretagem dos moldes e foi seguido de acordo com as prescrições da NBR 9833/2009, em que é definido a relação entre a massa de concreto e o volume do mesmo após o adensamento, incluindo o volume de ar retido e incorporado a ele. Também foi realizado um ensaio para cada traço proposto.

4.5. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.5.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de compressão realizado para todos os corpos de prova cilíndricos seguiu a descrição da norma NBR 5739/20019, na qual foram utilizados três amostras de CP's para cada traço obtido e cada idade (7, 21 e 28 dias), conforme foi programado.

Contudo, alguns corpos de prova passaram pelo processo de retificação na superfície, tornando uniforme para que não ocorram cargas pontuais, comprometendo assim o resultado da pesquisa. Deste modo, foram inseridos os corpos de prova na prensa, sendo um de cada vez conforme mostra a Figura 9, devidamente regulado o equipamento, o ensaio é realizado e obtido os valores de tensão de ruptura (KN) que apresentam na máquina, dividindo pela área da seção transversal do CP e encontrando o valor final dado em Mpa.

Figura 9: Prensa para ensaio de compressão



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.5.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO

Para realizar este ensaio utilizou-se a norma NBR 9778/2009 que avalia a porosidade do concreto em corpos de prova extraídos de estruturas ou moldados para realizar o próprio ensaio. Foram utilizadas duas amostras em todos os traços com idade aos 28 dias, na qual se obtém a massa seca dos CP's depois de ter passado 72 horas na estufa com uma temperatura aproximada de $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Logo após, os corpos de prova foram imersos em um recipiente com água em temperatura ambiente por 72 horas e obteve-se a massa saturada.

Para determinar este ensaio, calcula-se a absorção de água (A), através desta Equação (1),

$$A (\%) = \frac{(M_{sat}-M_s)}{(M_s)} \times 100 \quad (1)$$

onde,

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

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A seguir, os subtópicos apresentam os resultados da caracterização dos materiais conforme metodologia abordada.

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

De acordo com a Tabela 5, observa-se que o cimento estudado apresenta massa específica e unitária coerentes com os dados encontrados nas literaturas.

Tabela 5: Resultados da caracterização do cimento

Material	Massa Específica Real (kg/m³)	Massa Unitária (kg/m³)	Especificação
Cimento	3100	1450	CP – II E 32

Fonte: Autoria Própria (2019).

5.1.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Neste ensaio, observou-se que os materiais obtiveram um módulo de finura diferente, com valores de 2,65 e 2,78, mas em conformidade com a NBR 7211/2005, que define os limites para o módulo de finura entre 2,20 e 2,90. A massa específica e unitária do pó de pedra se apresentou maior do que as da areia, porém, não são valores muito distintos, como mostra a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Resultados da caracterização dos agregados miúdos

Material	Massa Específica Real (kg/m³)	Massa Unitária (kg/m³)	Módulo de finura
Areia	2555	1490	2,65 (média)
Pó de pedra	2560	1498	2,78 (média)

Fonte: Autoria Própria (2019).

Esses resultados encontrados se adequam a valores que estão em literaturas e são consideradas aceitas, é o que diz Silva (2015), em que os valores encontrados são classificados como satisfatórios. Vale salientar que o pó de pedra considerado também como areia artificial, é comparado a areia natural, pois substitui uma porcentagem da parcela do agregado miúdo.

5.1.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Como mostra a tabela 7, é possível observar os resultados encontrados para cada tipo de material. Assim como no caso dos agregados miúdos, estes valores estão em acordo com literaturas consultadas. Ressalta-se que a brita é comparada ao RCD, pois este substitui uma porcentagem da parcela do agregado graúdo natural.

Tabela 7: Resultados da caracterização dos agregados graúdos

Material	Massa Específica Real (kg/m³)	Massa Unitária (kg/m³)	Especificação
Brita	2585	1550	Brita 1
RCD	2325	1330	Classe A
*De acordo com o CONAMA, existem cinco classes conforme o tipo de RCD, na qual está classificado acima.			

Fonte: Autoria Própria (2019).

5.2. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST) E MASSA ESPECÍFICA

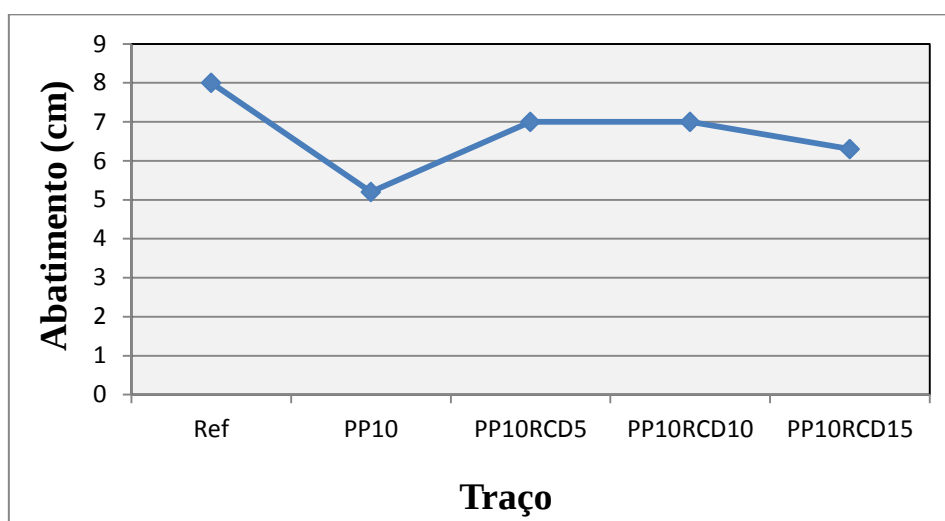
Ao realizar o ensaio do tronco de cone para cada traço de concreto, obtiveram-se os resultados de abatimento como apresenta na Tabela 8 abaixo e de maneira mais nítida no Gráfico 1. Observa-se um decréscimo considerável neste parâmetro para os traços com a incorporação dos resíduos.

Tabela 8: Resultados do ensaio de consistência (Slump test)

Traço	Abatimento (cm)
Ref.	8
PP10	5,2
PP10RCD5	7
PP10RCD10	7
PP10RCD15	6,3

Fonte: Autoria Própria (2019).

Gráfico 1: Representação dos resultados do slump test



Fonte: Autoria Própria (2019).

Fazendo um comparativo com a Tabela 9, que apresenta um grau de trabalhabilidade para cada quantidade de centímetro de concreto abatido, observa-se que todos tem um grau de trabalhabilidade considerado como médio. Mas, se analisarmos o traço referência e o pó de pedra, observamos que há uma grande diferença comparada aos demais, isso pode ser causado devido ao pó de pedra ser um material com características de alto teor de finos causando a retenção de água.

Tabela 9: Trabalhabilidade no abatimento de tronco de cone

Grau de trabalhabilidade	Abatimento de tronco de cone (cm)
Muito baixo	0 – 2,5
Baixo	2,5 – 5,0
Médio	5,0 – 10,0
Alto	10,0 – 17,5

Fonte: Adaptado de Holanda (2019).

De acordo com a Tabela 10, os resultados apresentados para a massa específica fresca do concreto de cada traço mostra que, mais uma vez, a incorporação desses materiais em substituição no concreto provocou alterações, uma vez que, o traço com pó de pedra teve um valor menor relacionado aos demais, já os com RCD de 10% e 15% apresentaram valores maiores.

Nesse caso, observa-se que praticamente não houve modificações nesse parâmetro, uma vez que os concretos com resíduos apresentam massa específica, no estado fresco, praticamente iguais ao concreto referência.

Tabela 10: Resultados do ensaio de massa específica fresca

Traço	Massa Específica (g/cm³)
Ref.	2,26
PP10	2,23
PP10RCD5	2,23
PP10RCD10	2,28
PP10RCD15	2,28

Fonte: Autoria Própria (2019).

Contudo, estes valores podem ser esclarecidos de acordo com os estudos apresentados por Almeida (2002), que diz que esta propriedade, em específico, depende de muitos parâmetros, como o tipo de agregado utilizado, sua granulometria e o tipo de método de adensamento empregado. Assim, como o fator densidade esta diretamente relacionada com a massa, à aplicabilidade deste concreto pode vir a ser analisada para estruturas que demandem uma densidade mais “leve” ou “pesada”.

5.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Conforme exposto na tabela 11 abaixo, todos os resultados de resistência à compressão estão apresentados de acordo com o traço, idade e quantidade de amostras necessárias, tendo amostras com e sem substituição de materiais utilizados na pesquisa, o que busca entender a influência da incorporação de RCD e pó de pedra, principalmente para este ensaio.

Inicialmente, observa-se que quase todos os corpos de prova atingiram o objetivo do estudo de chegar a uma resistência de 25 Mpa aos 28 dias de cura, porém, duas amostras do traço de 10% de RCD apresentaram resultados inferiores, um com 14,39 Mpa e o outro com 21,00 Mpa. A resistência 14,39 MPa é considerada baixa de acordo com a o que a literatura considera para ser usado como concreto estrutural.

Possíveis causas são as condições de moldagem adversas e erros na execução desses corpos de prova em específico. A moldagem foi realizada em período do dia com

elevadas temperaturas, o que contribuiu para a ocorrência do fenômeno de evaporação da água de amassamento, necessária para as reações de hidratação do cimento.

Tabela 11: Resistência à compressão das amostras de concreto

Resistência à Compressão (Mpa)				
Concreto	Amostras	Idade (dias)		
		7	21	28
Ref.	1	19,53	28,51	30,07
	2	19,17	29,43	27,70
	3	18,71	28,16	25,57
PP10	1	23,39	27,07	26,63
	2	24,76	32,57	29,79
	3	23,67	20,73	37,08
PP10RCD5	1	18,04	26,74	31,67
	2	21,31	27,88	33,00
	3	23,65	26,72	32,72
PP10RCD10	1	19,64	27,14	14,39
	2	19,16	28,11	21,00
	3	21,08	28,89	36,47
PP10RCD15	1	18,23	21,81	31,41
	2	22,61	25,15	30,65
	3	17,29	22,54	30,74

Fonte: Autoria Própria (2019).

Para ter um melhor entendimento dos resultados, realizou-se a média de cada traço como mostra a Tabela 12 abaixo. A mesma mostra que a resistência a 28 dias de 10% de RCD e PP foi a menor comparado à resistência a 21 dias do mesmo traço, isso mostra erro de execução desses corpos de prova, como um má adensamento. Se voltar na Tabela 11, a amostra 1 do traço de 10% de RCD apresenta um valor muito inferior aos demais, o que comprova o erro esclarecido e consequentemente a influência na média deste traço.

Tabela 12: Resistência média à compressão das amostras de concreto

Resistência Média à Compressão (Mpa)			
Concreto	Idade (dias)		
	7	21	28
Ref.	19,14	28,70	27,78
PP10	23,94	26,79	31,17
PP10RCD5	21,00	27,11	32,46
PP10RCD10	19,96	28,05	23,95
PP10RCD15	19,38	23,17	30,93

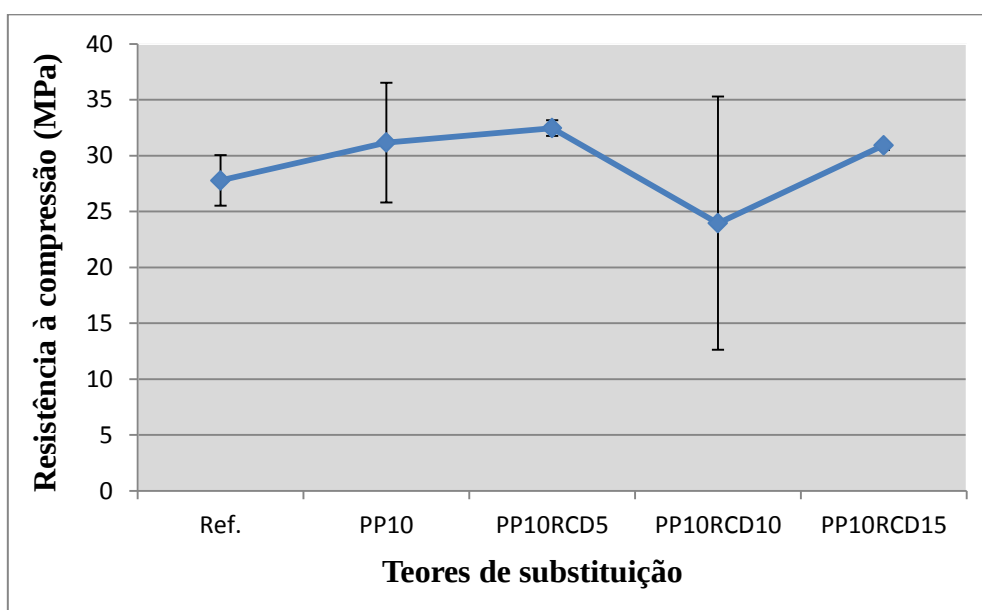
Fonte: Autoria Própria (2019).

Constatou-se que a incorporação de 5% de RCD sobre a parcela de agregado graúdo proporcionou um incremento de resistência de 16,85% maior, comparado ao traço de referência. Em contra partida, vários são os fatores que contribuem para o fator resistência, podendo ser citado o controle tecnológico, a matéria-prima utilizada na mistura, o processo de cura, dentre outros.

Ainda de acordo com a Tabela 12, para resistências à 28 dias de cura, constatou-se que as amostra com 5% de RCD obtiveram um aumento de 16,85% na resistência, quando comparado a amostra de referência. Já, a mistura com 10% de RCD apresentou um decréscimo de 16,00% nessa mesma comparação e de 35,53% em relação à mistura com 5% de RCD. Para o teor de 15% de RCD resultados positivos foram aferidos, apresentando um acréscimo de 11,34% em relação ao concreto sem incorporações. Esses resultados vão de encontro aos estudos de Aragão *et al* (2007) e Isaia (2011) que obtiveram resultados mais positivos no parâmetro de resistência do concreto com materiais recicláveis.

A seguir, o Gráfico 2 apresenta o desvio padrão de cada traço, as amostras PP10RCD5 e PP10RCD15 obtiveram o valores de desvio quase zero se olha a resistência de compressão de 32,46 Mpa e 30,93 Mpa, respectivamente. Portanto, quando se vem a comparar este valor com a média das resistências mecânicas disponíveis na Tabela 12 com o valor do f_{ck} , pode-se aferir que esses traços obtiveram um bom controle tecnológico, enquanto que o PP10 e PP10RCD10 obtiveram uma disparidade na comparação destes parâmetros. Todavia, essa discrepância pode ter ocorrido pelo baixo controle tecnológico do concreto, o tipo de técnica de mistura dos componentes empregados, bem como o tipo de adensamento realizado.

Gráfico 2: Desvio padrão da resistência média à compressão



Fonte: Autoria Própria (2019).

Um resultado satisfatório observado é a resistência da amostra do “PP”, que teve um ganho significativo na incorporação do concreto, de 31,17 Mpa aos 28 dias, ficando em segundo lugar dos traços com resíduos comparado ao referência, por ser considerado como um material fino, na qual acaba retendo água para si e tem uma consistência baixa, ele foi considerado positivo no objetivo proposto, pelo ganho de resistência progressivo ao longo dos dias que eram submetidos à compressão.

Tomando-se para o lado ambiental, pode-se concluir que a utilização do RCD e pó de pedra no concreto é uma alternativa para inúmeras aplicações, tendo em vista o descarte final 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). Por fim, das amostras analisadas, observa-se que o concreto com 5% de RCD e 10% de PP mostrou uma boa qualidade e alternativa para ser empregado no mercado, contudo, é necessário um estudo mais aprofundado da microestrutura do concreto para entender melhor qual parâmetro tem influência direta sobre o fator resistência.

5.4. ENSAIO DE ABSORÇÃO

De acordo com a Tabela 13, os resultados de absorção das amostras aos 28 dias de RCD e pó de pedra obtiveram maiores valores, comparado ao concreto referência. Apresentando um acréscimo de 30,87%, 32,77%, 35,73% e 38,05%, respectivamente. Ou seja, quanto mais resíduos incorporados, maior será a absorção, isto pode ser

explicado em consequência da finura e quantidade de material cerâmico no resíduo, materiais com grande poder de absorção.

Tabela 13: Resultados do ensaio de absorção aos 28 dias

Traço	Absorção (%)
Ref.	4,73
Pó de Pedra	6,19
RCD – 5%	6,28
RCD – 10%	6,42
RCD – 15%	6,53

Fonte: Autoria Própria (2019).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto busca incorporar à matriz do concreto, materiais que sejam compatíveis e que não venham a prejudicar seu desempenho durante sua vida útil. Daí, este trabalho buscou analisar os efeitos da incorporação do resíduo de construção e demolição (RCD) e pó de pedra sobre o concreto.

Constatou-se que, para a resistência a 28 dias de cura, a amostra com 5% de RCD obteve um aumento de 16,85% na resistência, quando comparado a amostra de referência. Contudo, a mistura com 10% de RCD apresentou um decréscimo de 16,00% nessa mesma comparação e de 35,53% em relação à mistura com 5% de RCD. Para o teor de 15% de RCD resultados positivos foram aferidos, apresentando um acréscimo de 11,34% em relação ao concreto sem incorporações.

Observado o material empregado, a resistência da amostra do “PP”, que teve um ganho significativo na incorporação do concreto, de 31,17 Mpa aos 28 dias, por ser considerado como um material fino, na qual acaba retendo água para si e tem uma consistência baixa, foi considerado positivo no objetivo proposto pelo ganho de resistência progressivo ao longo dos dias que eram submetidos à compressão.

Conclui-se que a pesquisa cumpriu seu objetivo de fazer uma análise dos materiais incorporados no concreto, para que tenha possíveis aplicações. Das amostras analisadas, observa-se que o concreto com 5% de RCD e 10% de PP mostrou uma boa qualidade e alternativa para ser empregado no mercado. Por fim, tomando base dos resultados encontrados e analisados, percebe que é significativo o uso deste concreto em suas aplicações. Vale salientar, que a necessidade de realizar estudos mais aprofundados e voltados para entender e compreender as características e propriedades deste material cimentante se torna necessário para pesquisas nessa área.

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.

ABNT NBR 7211. **Agregados para concreto – Especificações**. Rio de Janeiro, 15 p, 2009.

ABNT NBR 11768. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**, 2011.

ABNT. NBR 5738. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. NBR NM 45. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 8 p, 2006.

ABNT. NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 8 p, 2009.

ABNT. NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

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_RECICLADO_DE_RCD_EM_VIGAS_PARA_LAJES_PRE-MOLDADAS. Acesso em: 3 fev. 2019.

BOSILJKOV, V. B. **SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler**. Cement and Concrete Research, v. 33, n. 9, p. 1279-1286, Sept. 2003.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P.; COSTA, D. B. **Características do entulho e do agregado reciclado**. Capítulo 5. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. *Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção*. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.

CASSA, J. C. S.; BRUM, I. A. S.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B. **Diagnóstico dos setores produtores de resíduos na região metropolitana de Salvador/Bahia**. Capítulo 2. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.

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.

CONTRERAS, M.; TEIXEIRA, S. R.; LUCAS, M. C.; LIMA, L. C. N.; CARDOSO, D. S. L.; SILVA, G. A. C.; GREGÓRIO, G. C.; SOUZA, A. E.; SANTOS, A. **Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study)**. Construction and Building Materials, v. 123, p. 594-600, 2016.

DANA, J. D. **Manual of mineralogy**. Revisão: C. Klein; C. S. Hurlbut Jr. 21st ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 681 p.

DOLOMITA DO BRASIL. **Cultura**. Disponível em: <<http://www.dolomita.com.br/cultura>>. Acesso em: 08 fev. 2005.

DOMONE, P. L. J.; JIN, J. **Properties of mortar for self-compacting concrete**. Edição: A. Skarendahl; O. Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st., 1999, Stockholm. **Proceedings...** France: RILEM Publications, 1999. p. 109-120.

EFNARC. **Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. Reino Unido, 2002. 32 p.

ESPING, O. **Methods for characterization of fillers and fines for self-compacting concrete**. Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3rd, 2003, Reykjavik. **Proceedings...** France: RILEM Publications, 2003. p. 208-219.

GIAMUSSO, S. (1992): **Manual do concreto**. Pini, São Paulo, p. 162.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. 2011.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2ed. IBRACON, 2010.

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. Seminário de reciclagem de resíduos sólidos domiciliares**. SEMA/CETESB/GESP, 2000.

KAEFER, L. F. (1998): **A evolução do concreto armado**. São Paulo, p. 43.

KULATUNGA, U.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R. **Attitudes and perceptions of construction workforce on construction waste in Sri Lanka**. Management of Environmental Quality: An International Journal, v. 17, n. 1, p. 57-72. 2006.

MORAES, M. **Adições Minerais ao Concreto**. Notas de aula, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, 2012.

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

NEVILLE, A. (1997): **Propriedades do concreto**. PINI, São Paulo, p. 828.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5 ed., Bookman, Porto Alegre, 912 p, 2015.

PETERSSON, O. **Workability**. SCC Final Report - Task 2. Brite EuRam: 1999. 56p.

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.

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

SILVA, J. D. J. **Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland**. Natal, RN, 2015.

SONEBI, M.; BAHADORI-JAHROMI, A.; BARTOS, P. J. M. **Development and optimization of medium strength self-compacting concrete by using pulverized fly ash**. Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF- COMPACTING CONCRETE, 3rd., 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003. p. 514-524.

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.

TUTIKIAN, B.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011.