



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO – CAMPUS CARAÚBAS
CENTRO DAS ENGENHARIAS
ENGENHARIA CIVIL

DOMILENE SARANNA DA SILVA NASCIMENTO

PRODUÇÃO DE CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

CARAÚBAS – RN
NOVEMBRO DE 2016

DOMILENE SARANNA DA SILVA NASCIMENTO

PRODUÇÃO DE CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Trabalho Final de Graduação apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito básico para a obtenção de título de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Ms. Gilvan Bezerra dos Santos Junior.

CARAÚBAS – RN
NOVEMBRO DE 2016

© 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.

N244p NASCIMENTO, DOMILENE SARANNA DA SILVA.
PRODUÇÃO DE CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS / DOMILENE SARANNA DA SILVA NASCIMENTO.
- 2016.
77 f. : il.

Orientador: Gilvan Bezerra dos Santos Junior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2016.

1. Resíduos . 2. IMPACTOS. 3. RECICLAGEM. 4.
INCORPORAÇÃO. 5. CONSTRUÇÃO CIVIL. I. SANTOS
Junior, Gilvan Bezerra dos, 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.

DOMILENE SARANNA DA SILVA NASCIMENTO

PRODUÇÃO DE CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Trabalho Final de Graduação apresentado à
UFERSA – Universidade Federal Rural do
Semi-Árido, como requisito básico para a
obtenção de título de graduação em
Engenharia Civil.

APROVADA EM 8 / 11 / 2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Ms. Gilvan Bezerra dos Santos Junior


Prof. Ms. Luis Henrique Gonçalves Costa


Prof.ª Dr. Manoel Dênis Costa Ferreira

DEDICATÓRIA

Aos meus avós maternos, Luiz Francelino e Regina Celeste, que sempre se fizeram presentes nesse percurso.

A minha mãe, Maria Jarcilene da Silva, por quem tenho tamanha gratidão e um amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder a graça de estudar e conseguir, com muita garra, a conclusão de curso tão esperada.

A minha mãe, que tanto admiro por enfrentar as dificuldades do cotidiano com sorriso no rosto e por fazer tamanho esforço para conseguir me manter em Caraúbas e em Mossoró.

Ao meu irmão, Arthur Paulo da Silva, que tanto demonstra carinho e amor, fazendo renovar as energias para essa lua diária.

Aos meus avós maternos, Luiz Francelino e Regina Celeste, verdadeiros pais, que mesmo não gostando da ideia que eu morasse em outra cidade, aceitaram a condição e hoje me dão todo o apoio no que se refere aos estudos.

Aos meus primos, em especial Pricila Mayara e Rodolpho Luiz, que sempre tiram um tempinho para me ajudar a amenizar o estresse do cotidiano.

Ao Joatan Jonas por fazer meus dias mais felizes no laboratório e ajudar nos experimentos.

Aos familiares em geral que me encorajaram a sempre buscar meus sonhos.

A dona Eliane, Seu Pedro e Dona Neném que me acolheram com muita alegria e bom grado na hora que mais precisei.

A Lylyane Andrade por estar presente todos os dias nessa reta final do curso, tornando os dias mais divertidos, memoráveis e, ainda, por ajudar na minha alimentação com a “tapioca nossa de cada dia”. Sem esquecer, é claro, dos pães com ovos em pleno sábado à noite e os açaís compartilhados.

A Ana Letícia e Alessandra Mária que sempre me apoiaram em tudo e se fizeram presentes todos os dias acompanhando, mesmo de longe, cada alegria e cada dificuldade enfrentada.

Ao meu Bonde – Aninha Dantas, Sara Campos, Ana Karolyne, Rômulo Lopes, Izaque Bruno, Milton Luiz, Clédina Miranda, Gyovanna Cavalcanti, Nathalia Thauany e tantos outros – que mesmo de longe, alegra o meu dia, me passa amor, confiança e companheirismo durante os meus bons e maus momentos.

Aos meus companheiros de guerra, Anderson Millano e Cássio Kaique, que sempre me ajudaram em tudo e, nessa reta final se fizeram mais presentes ainda, todas as noites na sala da EJ, compartilhando bolos, cuscuz, pães e bastante, eu disse bastante, café.

Ao Leo Matoso que, mesmo ocupado com o seu mestrado, tirou um tempo pra me ajudar na elaboração desse TCC, bem como, a lidar com os estresses diários.

A Jéssica Medeiros, Kerolaynny Brenda, Cristina Fernandes, Sonally Cléscia e Fernanda Allana que estão comigo desde o começo vencendo essa batalha.

A Linha MC que passou esses últimos meses nessa luta diária de idas e vindas à Caraúbas em busca de um crescimento pessoal e profissional.

A Letícia Ainoan, Sara Nunes, Gabriela Laryssa, Jocélia Dantas e Renata Oliveira que se fizeram muito mais presentes durante esses últimos dois anos de faculdade, alegrando até meus dias mais difíceis

A Tia Rúbia, Tia Márcia e Vovó Cida, minha “mista” família adotiva, que não mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso, desde palavras de apoio até às comidas deliciosas.

Aos meus companheiros Enilson Costa, Lucas Lessa, Lucas Barbosa, Luiz Freitas, Luiz Eduardo, Ewerton Gurgel, Saulo Sérvulo e Diogo Jales que tornaram meus dias mais proveitosos, cheios de apoio e carinho.

Ao Giovaninny Duarte e Layon Acacias por nunca medir esforços para ajudar a quem quer que fosse, por brigar, dar força e me ensinar a ser uma pessoa melhor todos os dias e, principalmente, por sempre acreditarem no meu potencial e nunca me deixarem desistir disso tudo. Só tenho o que agradecer pelo resto da vida!

Aos demais amigos que, em sinal de companheirismo, estiveram presentes nas mais diversas situações.

A PILARES Empresa Junior por todo o conhecimento empresarial à mim repassado.

Aos técnicos de laboratório, Augusto e Marcelo, pela paciência em me orientar.

Aos meus Educadores, Erica Gurgel e Luis Henrique, por todo apoio, dedicação, conselho e companheirismo. Serei eternamente grata por todos esses anos de conhecimento compartilhado.

Ao meu orientador, Prof^o. Ms. Gilvan, pela paciência e por cooperação na realização desse trabalho.

Aos mestres que tanto colaboraram para minha formação acadêmica.

Aos membros da banca, por contribuir para melhoria do trabalho em questão.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desse sonho.

"Pouco importa qual é a chance de dar certo, de conseguir, de alcançar. O que mais importa é qual é a escolha que faz mover seu coração..." - Elenita Rodrigues.

RESUMO

A geração de resíduos vem crescendo muito nos últimos anos e, esse desequilíbrio, assim como sua falta de gerenciamento têm causado sérios problemas tanto no meio ambiente, quanto à saúde pública. Visto essa problemática, a sociedade tem repensado sobre as maneiras de usufruir os recursos do meio em que vive. A conscientização junto à reciclagem dos materiais significa, portanto, reduzir os impactos negativos ao meio ambiente. Um grande desafio para o setor construtivo, por exemplo, é transformar seus resíduos em uma fonte alternativa de matéria-prima. Juntando os cenários, surge a ideia da fabricação de novos elementos construtivos a partir da substituição parcial de agregados por materiais provenientes da fabricação de outrem como objetivo principal dessa pesquisa. A utilização destes é, no que lhe concerne, a forma mais apropriada de redução desses impactos. Para tanto, fez-se necessário um estudo bibliográfico aprofundado, além de práticas laboratoriais a fim de caracterizar o material e empregá-lo de forma correta, conferindo, por fim, a viabilidade da incorporação de resíduos na fabricação de novos elementos construtivos e impondo responsabilidades econômicas, sociais e ambientais ao setor da Construção Civil. Em contrapartida, pôde-se verificar que a água que não foi inicialmente considerada na dosagem é, frequentemente, responsável pela falha do concreto quanto ao desempenho, isto é, a adição da água a uma mistura de concreto para uma dada quantidade de cimento, melhora a fluidez do concreto no estado fresco, mas, ao mesmo tempo, reduz a sua resistência quando no estado endurecido. Nesse interim, dentro dos resíduos analisados (granito, cerâmico e pré-moldado), verificou-se que, este último, apresenta melhor condição de utilização visto a sua resistência elevada em relação ao traço referência dosado para ensaio.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos. Impactos. Reciclagem. Incorporação. Construção Civil.

ABSTRACT

The generation of waste has been growing in recent years and this imbalance, as well as their lack of management have caused serious problems both in the environment, as the public health. Since this problem, the company has rethought about ways to use the resources of the environment they live in. The awareness by the recycling of materials means, therefore, reduce the negative environmental impacts. A major challenge for the construction sector, for example, is turn your waste into an alternative source of raw material. Joining the scenarios, comes the idea of manufacture of new constructive elements from the partial replacement of aggregates for material from another manufacturing as the main objective of this research. The use of these is, as regards him, the most appropriate way to reduce these impacts. Therefore, a thorough bibliographic review was made necessary, and laboratory practices in order to characterize the material and use it correctly, giving finally the viability of waste incorporation in the manufacture of new construction elements and imposing responsibilities economic, social and environmental to the Construction sector. In contrast, it was observed that water was not initially seen on dosing is often responsible for the failure of concrete in performance, i.e., the addition of water to a mixture of concrete for a given amount of cement, improves the fluidity of fresh concrete, but at the same time reduces its resistance when in the hardened state. In the meantime, in the analyzed residues (granite, ceramic, pre-molded), it was found that the latter has a better condition of use since their high resistance in relation to the stroke reference dosed for testing.

KEYWORDS: Waste. Impacts. Recycling. Incorporation. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caracterização e classificação de resíduos.....	21
Figura 2. Resíduos de Construção Civil – Classe A.....	23
Figura 3. Resíduos de Construção Civil – Classe B.....	24
Figura 4. Resíduos de Construção Civil – Classe C.....	24
Figura 5. Resíduos de Construção Civil – Classe D.....	24
Figura 6. Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.....	25
Figura 7. Cimento utilizado para os ensaios.....	35
Figura 8. Amostra de Brita 1.	35
Figura 9. Amostra de areia utilizada.....	36
Figura 10. Amostra do resíduo gerado do beneficiamento de pedras de granito.	36
Figura 11. Amostra do resíduo gerado na fabricação de peças pré-moldadas.	37
Figura 12. Amostra do resíduo gerado na fabricação de blocos cerâmicos.	37
Figura 13. Equipamentos utilizados para ensaio de Análise Granulométrica	38
Figura 14. Corpos de provas moldados e rasados.	48
Figura 15. Corpos de prova delmodados.....	49
Figura 16. Corpos de prova em processo de cura por imersão.....	49
Figura 17. Retificadora de corpos de prova e seu respectivo produto finalizado.....	50
Figura 18. Equipamento para resistência à compressão e corpo de prova já rompido.....	51
Figura 19. Amostra de granito em preparação para os ensaios.	52
Figura 20. Amostra de pré-moldado sendo ensaiada para obtenção de massa específica segundo NBR 6508/1984.	57
Figura 21. Corpo de prova de cerâmica.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica – Pó de granito.....	53
Gráfico 2. Curva granulométrica – Pré-moldados.....	54
Gráfico 3. Curva granulométrica – Cerâmica.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Massa específica dos materiais utilizados na composição dos traços.....	46
Quadro 2. Identificação dos corpos de prova.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Requisitos químicos para a água.....	31
Tabela 2. Requisitos químicos para o concreto.	32
Tabela 3. Abatimento recomendado para vários tipos de construção.	41
Tabela 4. Requisitos aproximados do consumo de água e teor de ar para diferentes abatimentos e dimensão nominal máxima dos agregados.	42
Tabela 5. Relações entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto. .	43
Tabela 6. Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	43
Tabela 7. Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto.....	44
Tabela 8. Estimativa inicial da massa específica do concreto no estado fresco.	46
Tabela 9. Composição granulometria do pó de granito.	53
Tabela 10. Composição granulometria do material pré-moldado.	54
Tabela 11. Composição granulometria do material cerâmico.	55
Tabela 12. Teor de umidade obtido por ensaios.	56
Tabela 13. Valores de massa do balão volumétrica + resíduos + água, temperatura e massa específica da água correspondente.	57
Tabela 14. Massa específica dos grãos do solo.	58
Tabela 15. Traços utilizados para análises.	58
Tabela 16. Parâmetros obtidos a partir do ensaio de compressão.	59

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI – *American Concrete Institute*
CAERN – Companhia de água e esgoto do Rio Grande do Norte
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP – Cimento Portland
FIERN – Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte
IFRN – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
LAMESP – Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NM – Norma Mercosul
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RCC – Resíduos da Construção Civil
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
UNP – Universidade Potiguar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
3.1.1 Classificação dos resíduos.....	20
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONTRUÇÃO CIVIL	22
3.2.1 Classificação dos Resíduos da Construção Civil	23
3.3 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	25
3.3.1 Medida Mitigadora – Reciclagem	26
3.4 CONCRETO SUSTENTÁVEL	26
3.4.1 Cimento	28
3.4.2 Agregado Graúdo.....	29
3.4.3 Agregado Miúdo	29
3.4.4 Agregados Reciclados.....	30
3.4.5 Água.....	31
4. METODOLOGIA	33
4.1 MATERIAIS	34
4.1.1 Cimento Portland.....	34
4.1.2 Brita.....	35
4.1.3 Areia	35
4.1.4 Resíduo do beneficiamento de pedras de granito.....	36
4.1.5 Resíduo da fabricação de pré-moldados	36
4.1.6 Resíduo de materiais cerâmicos.....	37
4.1.7 Água.....	37
4.2 MÉTODOS.....	37
4.2.1 Preparação de amostras para ensaios de caracterização	38
4.2.2 Análise Granulométrica.....	38
4.2.3 Teor de umidade.....	39
4.2.4 Massa específica	39
4.2.5 Dosagem do Concreto	40
4.2.6 Mistura do traço.....	47
4.2.7 Moldagem dos corpos de prova	48
4.2.8 Resistência à compressão axial	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
5.1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO	52
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	52
5.3 TEOR DE UMIDADE	56
5.4 MASSA ESPECÍFICA.....	56
5.5 DOSAGEM DO CONCRETO.....	58
5.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	58
6. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	68

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (ABNT, 2006). Trata-se, na realidade, do material de construção mais utilizado no ramo da Engenharia Civil, visto que, historicamente, os romanos já usavam uma versão derivada desse material, a pozolana.

O aumento das inovações tecnológicas relacionado ao crescimento econômico, social e cultural, voltado para as adaptações, modificações, e consequentemente a expansão contínua das cidades, fez com que a realidade da engenharia se modificasse completamente. Essa modificação ocasionou o aumento no número de casas e edifícios, o que levantou a economia da construção civil, gerando empregos e renda. No entanto, a construção civil é um dos principais e maiores geradores de resíduos urbanos. A indústria da construção produz rejeitos em todas as suas atividades, sendo estimada, no Brasil, uma produção de 850.000 t/mês de entulho (CORRÊA, 2009).

Diante disso, o consumo desregrado dos recursos naturais deu origem a uma grande preocupação com o meio ambiente – disposição irregular dos mesmos, aumento da poluição e intensificação da degradação ambiental – aliada a necessidade de encontrar soluções para reduzir esse impacto causado pelas atividades humanas. Sendo assim, quais medidas devem ser adotadas com os resíduos sólidos gerados nas construções civis?

Esse questionamento tem levado a comunidade científica e a população a pensar em maneiras mais eficazes de usufruir os recursos naturais e derivados, a indústria a buscar uma forma de amenizar os impactos causados e sempre seguir leis impostas perante a área. Nasce, então, a gestão de resíduos como uma alternativa esperançosa na diminuição desses impactos ambientais.

Assim sendo, o uso do concreto ecológico surge como uma solução promissora na diminuição de impactos ambientais no âmbito da construção civil. Ele faz uso de resíduos gerados do serviço ou da produção de determinados materiais, como: produção de cerâmica, construção e demolição de edificações, explosões em pedreiras, materiais plásticos, etc.

A reutilização de materiais provenientes das construções/demolições como agregados para a produção de concreto, por exemplo, mostra ser uma solução grandiosa. Segundo Santana *et al.* (2011), “os agregados também têm um papel fundamental na determinação do

custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto”. Isto é, seu reuso parte do princípio de beneficiamento ambiental, social e econômico.

No entanto, mesmo sabendo dos benefícios que a reutilização desses materiais traz, ainda hoje, existe dificuldade de reutilização de resíduos como matéria-prima para produção de outros elementos construtivos. Mas, é uma questão que já vem sendo estudada e analisada por pesquisadores, no intuito de verificar a viabilidade do uso e suas devidas condições.

Seguindo essa ótica, esse estudo versa a análise da utilização de resíduos e demais materiais alternativos na produção de artefatos de construção, sejam eles de função estrutural ou não, colaborando, portanto, para o progresso do conhecimento científico diante do mercado da construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentado o interesse no estudo dos resíduos sólidos oriundos da produção de qualquer material, esse trabalho tem o objetivo de obter informações que denotam veracidade da reutilização desses na produção de novos elementos da construção civil visando melhorar a saúde ambiental e gerar uma construção menos onerosa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O estudo de caso em questão tem a finalidade de averiguar a viabilidade da aplicação de materiais alternativos na produção de novos elementos construtivos. Isso envolve os seguintes pontos:

- Estudo do impacto ambiental do descarte de resíduos;
- Estudo sobre o processo de gerenciamento desses resíduos e as leis que regem;
- Exequibilidade de novos materiais com uso de materiais alternativos;
- Análise das possíveis aplicações desse novo material.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa parte do trabalho tem o objetivo de explicar os conceitos, normas, leis e procedimentos que regem a gestão dos resíduos sólidos, bem como os processos de reaproveitamentos e suas aplicações.

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Visto a crescente geração de resíduos, quando não se dispõe de uma tecnologia capaz de fornecer o seu reaproveitamento e/ou seu adequado gerenciamento, o material será depositado na natureza de forma irregular ocasionando sérios problemas ao ambiente.

Segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte – FIERN (2013), 53% das empresas avaliam que sua produtividade aumentou nos últimos cinco anos. Sabendo-se que a geração de resíduos está diretamente ligada a essa produção, pode-se afirmar que os dados referentes à geração de resíduos sólidos tendem a revelar números cada vez mais altos.

Maciel (2015) defende que a geração de lixo no Brasil aumentou 29% de 2003 a 2014, o equivalente a cinco vezes a taxa de crescimento populacional no período, que foi 6%. Mais de 41% das 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos gerados no país em 2014 tiveram como destino os lixões e aterros controlados.

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), por exemplo, apontaram um total anual de 79,9 milhões de toneladas em 2015. Só a região Nordeste gerou a quantidade de 55.862 toneladas/dia de RSU, das quais 78,6% foram coletadas. (ABRELPE, 2015).

Considerando toda essa preocupação, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira Regulamentadora, NBR 10.004:2004, dispõe sobre os resíduos como sendo “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição” (ABNT, 2004).

Para efeito da Norma, os resíduos podem ser classificados, de acordo com a sua periculosidade, a saber: em perigosos e não-perigosos a fim de obter um gerenciamento adequado.

3.1.1 Classificação dos resíduos

Segundo a ABNT (2004) os resíduos podem ser classificados em:

Classe I – Perigosos: são os resíduos que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Ou, ainda, que apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou qualquer patogenicidade.

Classe II – Não-Perigosos: são resíduos que não apresentam qualquer tipo de periculosidade. São ainda classificados em *não-inertes* e *inertes*.

Não-Inertes: são os resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou de resíduos classe II B (inertes). Vale salientar que os resíduos classe II A podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

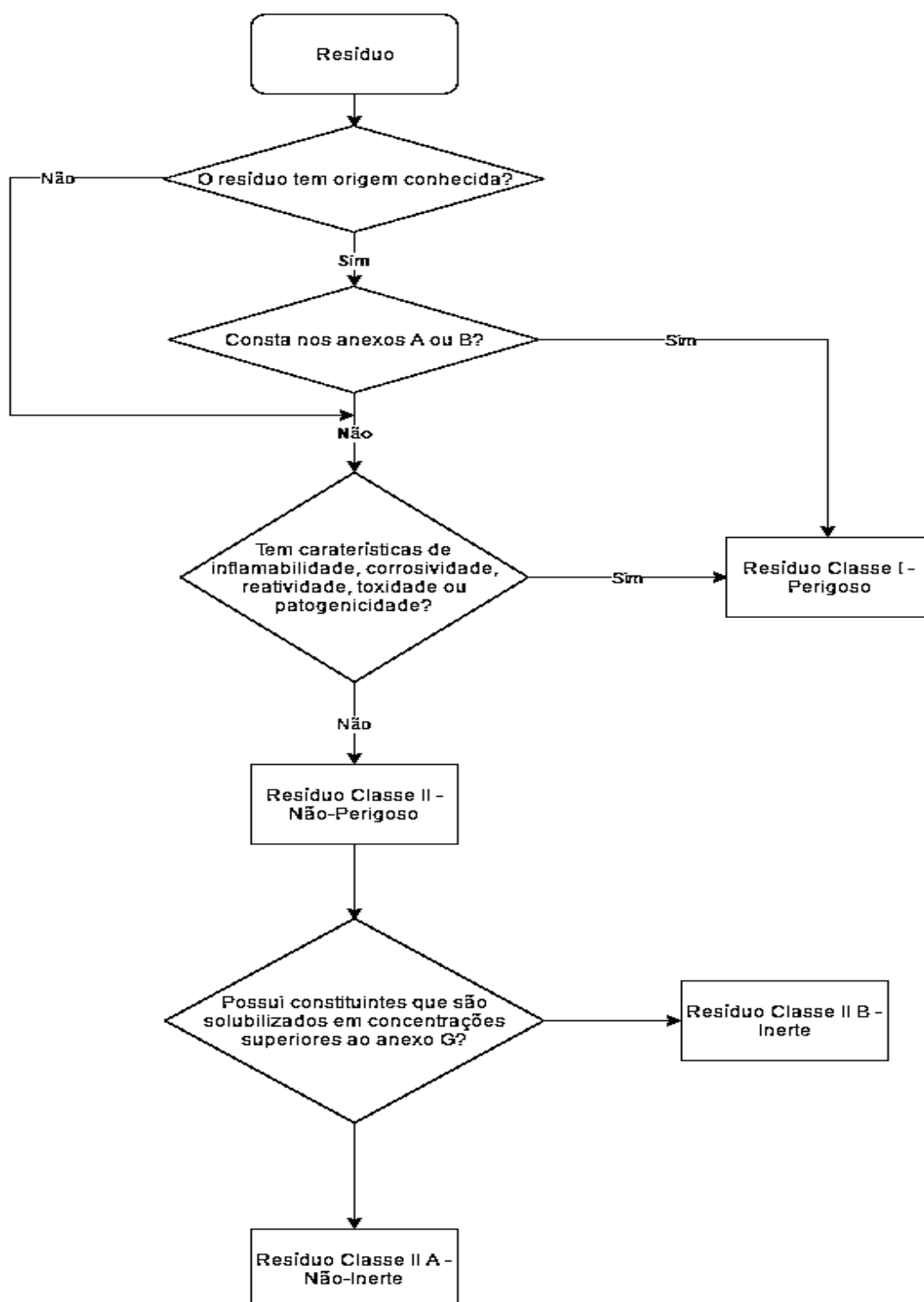
Inertes: quaisquer resíduos que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Cabe ressaltar que essa classificação envolve a identificação do processo ou atividade que deu origem e de seus constituintes, características e comparação destes constituintes com a listagem de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A composição dos resíduos dependerá, essencialmente, do meio ao qual pertence, assim como da situação socioeconômica e hábitos de vida da sociedade.

A Figura 1 mostra o processo de caracterização e classificação dos resíduos.

Figura 1. Caracterização e classificação de resíduos.



Fonte: Autora (adaptado de ABNT, 2004)

Diante de sua classificação, os resíduos podem ser corretamente gerenciados sem que haja a possibilidade de uma disposição incorreta capaz de gerar danos ao meio ambiente e a sociedade como um todo. (CONSONI *et al.*, 2000 *apud* MOURA, 2011)

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um setor de geração de resíduos em grande quantidade, constituindo uma atividade geradora de impactos ambientais. É nesse âmbito que a Construção Civil afronta a Política Ambiental. Isto é, por usufruir de uma gama de recursos naturais e alterar a paisagem natural do ambiente, nasce o grande desafio de harmonizar a atividade produtiva e lucrativa com o desenvolvimento sustentável consciente.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2016). Em 5 de julho de 2002, o Conselho instituiu a Resolução nº 307 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Por essa ótica, no Art. 2º Inciso I dessa mesma Resolução, define Resíduos da Construção Civil (RCC), da seguinte forma:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002).

Vale salientar que o CONAMA determinou que o gerador deve se responsabilizar pelo gerenciamento de seus próprios resíduos. É onde entra a questão das responsabilidades compartilhadas e práticas voltadas à segregação dos resíduos e destinação adequada em áreas vistoriadas pelos órgãos ambientais competentes.

Outra definição importante é a dada pela Lei 12.305/2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Em seu Art. 13º, Inciso “h”, ela define Resíduos da Construção Civil como sendo “os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civis incluídas os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (BRASIL, 2010).

Em suma, a PNRS prega os objetivos de não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar tratar, dispor adequadamente. Atribui, portanto, responsabilidades compartilhadas e práticas voltadas ao consumo sustentável, bem como, um conjunto de ações que propiciem o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos.

Em se tratando de definições oficiais, a Resolução nº 307 do CONAMA e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), são as principais referências.

Apesar de toda essa pressão sobre as empresas da cadeia produtiva da construção para atuarem de acordo com os princípios de sustentabilidade, o número de corporações que adotam uma gestão de resíduos gerados ainda é pequeno. Inversamente proporcional, o número de resíduos depositados em lugares inapropriados é alto. E, por acarretar essa disposição irregular, o CONAMA classifica os resíduos da construção civil a fim de obter a segregação e destinação correta dos mesmos.

3.2.1 Classificação dos Resíduos da Construção Civil

Para efeito da Resolução nº 307 do CONAMA a classificação dos resíduos se dá de acordo com a sua reciclabilidade.

• **CLASSE A:** são os resíduos que podem ser reutilizados e reciclados como agregados para a construção de novos blocos a serem utilizados na própria obra. A Figura 2 mostra uma porção de resíduos Classe A.

Figura 2. Resíduos de Construção Civil – Classe A.



Fonte: Venturini (2011).

• **CLASSE B:** são resíduos recicláveis para outra destinação, como plásticos, papel/papelão, metais, vidros e madeiras. A Figura 3 mostra exemplos desses resíduos.

Figura 3. Resíduos de Construção Civil – Classe B.



Fonte: Venturini (2011).

• **CLASSE C:** são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação. Na Figura 4 apresentam-se resíduos de gesso oriundos de construção.

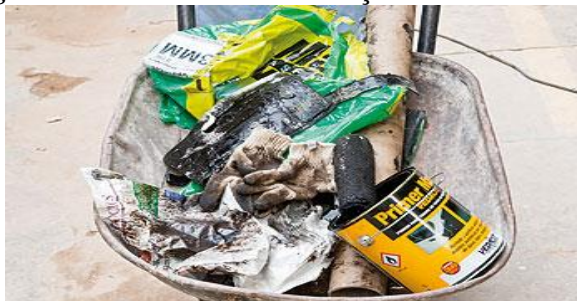
Figura 4. Resíduos de Construção Civil – Classe C.



Fonte: Venturini (2011).

• **CLASSE D:** são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. A Figura 5 mostra alguns tipos de resíduos de Classe D.

Figura 5. Resíduos de Construção Civil – Classe D.



Fonte: Venturini (2011).

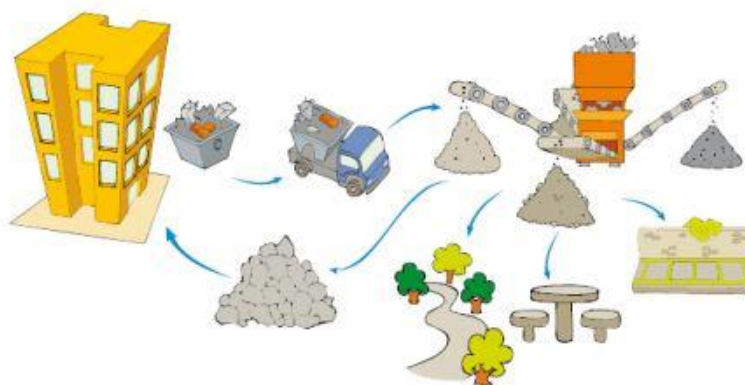
Segundo a CBIC (2012), as atividades de construção geram 40% de todos os resíduos gerados pela sociedade. Em sua maioria a classificação é tida como sendo Classe II (Não-Perigosos) – AB. Com isso, o seu estado de inércia reproduz uma ideia errônea de baixo impacto ambiental provocando a propagação de contaminações e afetando a saúde pública.

Levando em consideração esse aspecto, é válido dizer que quando o crescimento econômico e a preservação do meio ambiente andam juntos é possível obtermos um melhor desenvolvimento sustentável.

3.3 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Como visto, é necessário que haja um gerenciamento de todos os resíduos gerados para conhecer as formas e o tempo de degradação que terão. Essa prática visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (BRASIL, 2002). A Figura 6 resume o processo de gerenciamento dos resíduos.

Figura 6. Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.



Fonte: Isoline (2011).

Em síntese, o gerenciamento dos resíduos engloba a parte de armazenamento, coleta e transporte, deposição e as devidas medidas a serem tomadas. Sendo a reciclagem de resíduos, pra o último item, a solução mais viável que abrange as questões políticas, sociais, econômicas e ambientais (NASCIMENTO, 2014).

3.3.1 Medida Mitigadora – Reciclagem

Sabendo-se que nem sempre a destinação dos resíduos das indústrias é controlada, é possível optar pela reciclagem desses materiais a fim de reduzir o volume de detritos enviados aos aterros e lixões, bem como, a utilização dos recursos naturais.

A reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação (BRASIL, 2002). Em âmbito industrial, tem o intuito de alcançar o beneficiamento de tais resíduos de modo a serem novamente comercializados no mercado.

Ou seja, os resíduos coletados são processados e transformados em matéria prima na própria fonte de geração ou em uma usina de reciclagem, onde passarão por um processo de trituração e, após a granulagem, lhes serão dadas novas destinações.

Como Nascimento (2014) confirma, “de acordo com o tamanho da fração, os resíduos serão classificados em areia, brita, pedrisco, bica corrida e outros e a partir disso, poderão ser comercializados como matéria prima secundária”. Assim sendo, os materiais poderão ser utilizados na fabricação de produtos de base para a construção civil como pavimentação, tijolos, blocos de cimento, etc.

Corbioli (1996) apresenta uma definição interessante feita pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto. Segundo ele, todos os processos construtivos geram resíduos.

Se a questão é redução de custos, o ideal é que a reciclagem seja somada a outras formas de economizar. Não existe nenhuma solução mágica. A melhoria dos processos construtivos, como a adoção da laje zero, fôrmas pré-fabricadas ou a aplicação do gesso diretamente sobre os blocos, é essencial para reduzir os custos e a quantidade de material desperdiçado. A reciclagem entra como uma forma de reaproveitar o que é inevitavelmente perdido. (CORBIOLI, 1996)

Determinada pelo acelerado desenvolvimento da economia e pela inevitável adesão às políticas de valorização dos resíduos e sua reciclagem, nasce, portanto, o conceito de concreto sustentável.

3.4 CONCRETO SUSTENTÁVEL

O concreto é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (ABNT, 2006). A relação entre os vários componentes é pesquisada pela

tecnologia do concreto, para que venha satisfazer ao mesmo tempo as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade que são exigidas para ele.

A indústria da construção civil consome cerca de 75% dos recursos naturais produzidos em todo o planeta (PINTO, 1999). Em entrevista a *Téchne*, Mehta (2008) diz que o concreto é uma das maiores indústrias, produz muito e é a única com capacidade para absorver essa enorme quantidade de resíduo. Só que ela precisa reduzir a emissão de carbono. “A sociedade vai continuar consumindo grandes quantidades de concreto, para infraestrutura, para edificações, renovação”, afirma.

É fato que as estruturas de concreto são as mais empregadas dentro da Engenharia Civil. Com isso, é imprescindível que a qualidade do concreto seja diretamente proporcional à qualidade dos agregados nele empregado.

Segundo Silva *et al* (2015) os agregados miúdos possuem uma maior importância para proporcionar uma boa qualidade ao concreto, e um dos mais utilizados é a areia natural. Diante do crescente aumento da demanda por areia natural, os recursos naturais estão ficando cada vez mais escassos.

Unindo o útil ao agradável, surge a ideia de utilizar materiais não convencionais na fabricação de concreto, apresentando uma dosagem de concreto mais sustentável ambientalmente. Isto é, diminui a quantidade dos recursos naturais utilizados e faz-se uso dos resíduos que seriam destinados a locais inapropriados.

A substituição da areia natural de rio por agregado reciclado, por exemplo, tem se tornado uma realidade auspiciosa. E, por agregado reciclado, entende-se “o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia” (BRASIL, 2002). Essa substituição do agregado miúdo, utilizado na fabricação do concreto convencional, pode vir a ser uma alternativa bastante significativa se estudada com rigor sua viabilidade técnica e econômica.

Existe uma série de itens produzidos com agregados reciclados. Todos eles contribuem para um processo construtivo mais econômico, além de cooperar pra preservação do meio ambiente.

Em sua totalidade, sustentabilidade significa que, no processo como um todo, não se utiliza, em nenhuma hipótese, recursos naturais, como pedreiras, cascalhos ou terra. E, além dos benefícios ambientais, há também o retorno social. Convém dizer que, ser sustentável garante ao setor um crescimento acima do esperado, e, ainda, facilita as negociações com órgãos públicos, iniciativa privada e com potenciais parceiros (NASCIMENTO, 2014).

A seguir, serão explanados individualmente os componentes do concreto convencional.

3.4.1 Cimento

Tecnicamente, o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Pela NBR 12.655:2006, a ABNT define Cimento Portland como sendo um

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozzolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas (ABNT, 2006, p. 4).

O cimento está presente na sociedade desde o Egito antigo, Grécia e Roma. As grandes obras eram construídas com o uso de certas terras de origem vulcânicas, com propriedades de endurecimento sob a ação da água.

Segundo o Duarte (2013), em 1824 o químico e construtor britânico, Joseph Aspdin, queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino e obteve uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções. Por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland, esse componente construtivo recebeu o nome de Cimento Portland.

No Brasil, por exemplo, com a evolução do país, esse material passou a ser largamente utilizado, ocasionando o aumento do consumo e de sua importação, bem como o estímulo às iniciativas pioneiras de fabricá-lo no país. A evolução da indústria de cimento no Brasil retrata o próprio desenvolvimento das forças produtivas e a inserção do país na divisão internacional do trabalho. Quer dizer, os diferentes ciclos de consumo do produto estão atrelados à dinâmica de crescimento econômico e populacional.

A constituição/consolidação do ramo cimenteiro só foi possível porque houve a conjunção positiva de uma série de fatores, quais sejam o Estado com políticas alfandegárias e isenção de impostos, os empresários nacionais e suas estratégias de diversificação da produção, os empresários estrangeiros pela iniciativa e, por fim, o crescimento da renda interna e o aumento populacional nas cidades (SANTOS, 2011).

3.4.2 Agregado Graúdo

É o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (Agregados - Determinação da composição granulométrica), com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico) (ABNT, 2005).

O material comumente utilizado é brita. Ela é resultante da fragmentação da parte mecânica da rocha através da diminuição do tamanho de pedras maiores por meio de triturações com auxílio de equipamentos mecânicos.

Os agregados devem ser adaptados a certas normas para um uso otimizado em engenharia: limpos, duros, resistentes, duráveis, com partículas livres de substâncias ou camadas de argilas e livres e outros materiais finos em quantidades que poderiam afetar a hidratação e a ligação com a pasta de cimento. O tipo do agregado influencia tanto no módulo como na resistência do concreto. Quanto mais poroso o agregado maior a redução na resistência do concreto (POMPEU NETO; OLIVEIRA; RAMOS, 2011).

3.4.3 Agregado Miúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2005).

O agregado miúdo comumente utilizado é a areia – obtido através de processos naturais ou artificiais da fragmentação de rochas, ou resultantes de outros processos industriais (ABNT, 2011).

No Brasil, por exemplo, a areia é geralmente extraída de leito de rios ou extraída de minas, com estrutura de cavas encharcadas pelo lençol freático. De acordo com Almeida e Silva (2005), atualmente 90% da produção nacional de areia natural, no Brasil, é obtida a partir da extração em leito de rios e os 10% restantes, de outras fontes (várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos).

Juntamente com a água, ela é bombeada para silos suspensos, ou então, acumulada no terreno, para posteriormente ser embarcada em caminhões basculantes com destino ao distribuidor ou ao consumidor final (SILVA, 2012)

3.4.4 Agregados Reciclados

O modo inadequado de extração de recursos naturais e a poluição provocada por resíduos geram impactos grandiosos sobre o meio ambiente. A cada dia é demonstrado a importância de alcançar uma política de sustentabilidade nos setores sociais e econômicos. Por via de regra, a forma mais significativa de se obter essa política é através da reciclagem.

A ABNT (2011) define agregado reciclado como sendo o “material granular obtido de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, para uso como agregado”.

A importância de estudar os agregados isoladamente fundamenta-se no fato, que 75% do volume do concreto é ocupado pelos agregados, não sendo surpresa o fato de sua qualidade ser de considerável importância (LEVY, 2001).

As diferenças entre as propriedades dos agregados naturais e reciclados denotam alguns entraves referentes à utilização e também à confiabilidade dos mesmos. Apesar disso, visando oferecer alternativas de destinação de seus resíduos sólidos, a indústria da Construção Civil tem frequentemente se interessado pela reutilização dos resíduos gerados a fim de sanar essa problemática e tornar a produção mais econômica, visto que sua matéria-prima tenderá a ser retirada de seu próprio setor de trabalho.

Segundo Santana *et al.* (2011), o agregado é tido como material inerte, disperso por entre a pasta de cimento, usado somente por razões econômicas. No entanto, economia não é a única razão de se usar agregado, pois este material atribui vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura. Na realidade, o agregado não é totalmente inerte e suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes, também químicas, têm influência no desempenho e na durabilidade do concreto.

Além dessas propriedades importantes do concreto endurecido, os agregados também têm um papel fundamental na determinação do custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto (MEHTA, 2007).

3.4.5 Água

A relação com os recursos hídricos terrestres vai muito além das necessidades fisiológicas dos seres vivos. A crescente população e demandas econômicas globais impõem a necessidade de se ampliar o consumo de água para a produção de alimentos e para a indústria.

A água é utilizada em uma série de processos na indústria, desde limpeza, para a geração de vapor, para aquecimento ou resfriamento, como transportadora de substâncias ou partículas, como matéria-prima ou diretamente no produto, como no caso da indústria de bebidas. Em virtude da maior eficiência dos processos industriais, a retirada de água para esta finalidade tem se estabilizado por todo o mundo. Contudo, a maior preocupação refere-se ao impacto dos efluentes das indústrias no ambiente, ao invés da quantidade de água retirada (UNESCO, 2006).

Na construção civil, por exemplo, a água é um componente fundamental para o concreto. Ela é responsável pelas reações de endurecimento e usada na cura do concreto, podendo representar até 20% de seu volume total. Todavia, pode apresentar efeitos adversos se manejada de forma irregular – queda de resistência, alteração do tempo de pega, eflorescência, aparecimento de manchas e corrosão da armadura.

A ABNT (2006) especifica que a água destinada ao amassamento do concreto deve ser guardada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas. A Tabela 1 mostra os requisitos químicos que a água deve cumprir para sua utilização no amassamento e cura de argamassas e concreto.

Tabela 1. Requisitos químicos para a água.

REQUISITO	LIMITES
Sólidos totais	$\leq 5000 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$
Potencial hidrogeniônico (pH)	$5,5 < \text{pH} < 9,0$
Ferro (Fe)	$\leq 1,0 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$

Fonte: CMN (1997).

A Tabela 2 mostra os requisitos químicos para o concreto. Isto é, os limites diante dos aportes químicos trazidos ao concreto pela água. Podem ser fatores, também, dos agregados, aditivos químicos, adições e do cimento utilizado na mistura.

Tabela 2. Requisitos químicos para o concreto.

REQUISITO	LIMITES
Sulfatos solúveis	$\leq 2000 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$
Cloretos solúveis – Concreto Simples	$\leq 2000 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$
Cloretos solúveis – Concreto Armado	$\leq 700 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$
Cloretos solúveis – Concreto Protendido	$\leq 500 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$

Fonte: CMN (1997).

A durabilidade dos elementos construtivos do concreto simples, armado e protendido, é condicionada pelo eventual ataque de agentes agressivos a que estejam propícios durante a sua vida em serviço (BAUER, 2013).

Como afirma Pereira (2016), “a água é um dos componentes mais importantes na confecção do concreto mesmo sabendo que as impurezas presentes podem interferir diretamente na qualidade do concreto, e assim prejudicar a segurança da construção”.

Além de influenciar nas reações de hidratação, a água auxilia na obtenção da trabalhabilidade ótima para o manuseio do concreto em suas diversas aplicações.

4. METODOLOGIA

Esse estudo é de natureza descritiva, do tipo estudo de caso e de caráter qualitativo. O processo descritivo visa à identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou processo. Esse tipo de pesquisa pode ser entendido como um estudo de caso onde, após a coleta de dados, é realizada uma análise das relações entre as variáveis para uma posterior determinação dos efeitos resultantes em uma empresa, sistema de produção ou produto (PEROVANO, 2014).

No que se refere ao estudo de caso, essa técnica de pesquisa deve ser significativa e bem representativa, de modo a ser apta a fundamentar uma generalização para situações análogas (SEVERINO, 2007).

Nesse contexto, foi realizado um estudo da utilização de resíduos – gerados da produção de peças pré-moldadas, cerâmicas e de granito – na fabricação de novos elementos construtivos.

Para a concretização desse projeto, além da pesquisa bibliográfica baseada em livros, normas, artigos, monografias e teses, foi preciso ir a campo coletar materiais para serem utilizados nos ensaios a fim de verificar a viabilidade de utilização de um novo elemento fabricado a partir do emprego de tais resíduos em sua composição.

Nesse interim, os materiais foram coletados nas indústrias do setor de construção da Região Potiguar. Primeiramente, o pó resultante do corte do granito foi coletado na Marmoraria S&S em Mossoró, Rio Grande do Norte (RN), bem como o resíduo da fabricação de materiais pré-moldados foi coletado na Mossoró Premoldados. Já o material proveniente da fabricação de cerâmicas foi coletado na Cerâmica do Gato, na cidade de Assú/RN.

Depois da coleta, com o auxílio de equipamentos adequados, o material foi analisado e incorporado aos convencionais (brita, areia, cimento e água), para verificar o seu aproveitamento a partir dos ensaios de resistência com o novo produto elaborado.

Por fim, os dados obtidos foram anotados e avaliados de acordo com as normas que regem o tipo de material confeccionado.

Em suma, a metodologia adotada no decorrer do trabalho cumpriu os seguintes procedimentos:

- Determinação de resíduos industriais a serem analisados;
- Abordagem teórica referente aos resíduos escolhidos;
- Contato com as empresas;

- Coleta de material;
- Ensaaios laboratoriais;
- Coleta de dados;
- Cálculo da dosagem do concreto;
- Moldagem dos corpos de prova;
- Ensaaios laboratoriais;
- Processamento de dados;
- Exposição de resultados;
- Conclusão de trabalho e considerações finais.

Posteriormente, tais objetos de estudo serão melhores explanados.

4.1 MATERIAIS

A seguir serão descritos os materiais utilizados no estudo em questão.

4.1.1 Cimento Portland

O presente estudo sobre a produção de concreto com utilização de materiais alternativos fez uso do cimento Portland composto CP II Z-32-RS, com resistência ao ataque de sulfatos (RS), da marca Mizu (Figura 7), obtido no comércio local da cidade de Caraúbas/RN. O fabricante, por sua vez, declara as seguintes características para o produto:

- Puxa mais rápido.
- Melhor relação água/cimento = maior economia.
- Microestrutura mais compacta = menor incidência de fissuras.
- Menor permeabilidade, protegendo melhor a armadura.
- Resistência ao ataque de sulfatos; (RS).

Figura 7. Cimento utilizado para os ensaios.



Fonte: Autora.

4.1.2 Brita

O agregado graúdo utilizado para as análises foi a brita 1 (Figura 8) que, segundo a Votorantim (2012), apresenta dimensão máxima de 19 mm. O mesmo foi escolhido de modo a obter um melhor comportamento na moldagem dos corpos de prova e no adensamento propriamente dito.

Figura 8. Amostra de Brita 1.



Fonte: Autora.

O material foi obtido no próprio município de Caraúbas/RN, o qual foi armazenado em baldes para posteriormente ser utilizado na fabricação dos corpos de prova.

4.1.3 Areia

Para a produção dos concretos fez-se uso da areia natural (Figura 9) que, analogamente à brita, foi obtida no próprio município de Caraúbas. O material foi depositado em baldes para auxiliar no deslocamento até o local dos ensaios.

Figura 9. Amostra de areia utilizada.



Fonte: Autora.

4.1.4 Resíduo do beneficiamento de pedras de granito

O corte dos blocos de granitos e mármore gera uma grande quantidade de material pulverulento. Esse material foi, portanto, coletado na Marmoraria S&S e transportados em sacos plásticos com capacidade de 50 l. A Figura 10 mostra o material usado para as análises.

Figura 10. Amostra do resíduo gerado do beneficiamento de pedras de granito.



Fonte: Autora.

4.1.5 Resíduo da fabricação de pré-moldados

Com a finalidade de promover a reciclagem dos resíduos gerados na fabricação das mais variadas peças estruturais em concreto pré-moldado, o material utilizado para as análises foi coletado na fábrica Mossoró Pré-Moldados e transportado em sacos plásticos com capacidade de 50l. A Figura 11 apresenta uma amostra do material armazenado em estufa.

Figura 11. Amostra do resíduo gerado na fabricação de peças pré-moldadas.



Fonte: Autora.

4.1.6 Resíduo de materiais cerâmicos

A fim de verificar o aproveitamento dos resíduos de cerâmica vermelha na produção de concreto, o material foi coletado na empresa Cerâmica do Gato e transportado em sacos de rafia com capacidade de 25 kg. A Figura 12 mostra parte do material coletado.

Figura 12. Amostra do resíduo gerado na fabricação de blocos cerâmicos.



Fonte: Autora.

4.1.7 Água

A água utilizada na homogeneização da massa foi a água vinda da rede pública de abastecimento local da cidade de Caraúbas, que tem a CAERN – Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte, como responsável .

4.2 MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em função das normas vigentes e dos equipamentos disponíveis no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação – LAMESP.

A seguir serão apresentados os processos realizados necessários para obtenção dos resultados do estudo em questão, bem como as normas correspondentes.

4.2.1 Preparação de amostras para ensaios de caracterização

A preparação das amostras seguiu a NBR 6457 que trata do método para preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira de 4,8 mm). No seu anexo apresenta-se, ainda, o método para determinação do teor de umidade de solos, em laboratório (ABNT, 1986).

Dos ensaios citados nessa norma, foi realizado apenas para o ensaio de caracterização de análise granulométrica e a determinação do teor de umidade. Todavia, foi realizado, ainda, o ensaio de determinação de massa específica dos materiais finos. O mesmo seguiu os processos da NBR 6508 (grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica).

4.2.2 Análise Granulométrica

Seguindo os procedimentos das normas NBR 6457 e NBR 7181 pôde-se realizar a análise granulométrica dos resíduos em estudo. É válido salientar que, como houve uma enorme dificuldade em desmanchar os torrões dos resíduos de pré-moldados e das cerâmicas no almofariz (Figura 13-a), e para melhorar o aspecto dos materiais a serem trabalhados, fez-se uso da máquina utilizada nos ensaios de abrasão Los Angeles (Figura 13-b). A amostra saía melhor homogeneizada.

Figura 13. Equipamentos utilizados para ensaio de Análise Granulométrica



Fonte: Autora.

O pó de granito, por sua vez, sendo um material bastante pulverulento, não apresenta torrões, desprezando a necessidade de uso do maquinário anteriormente citado. Assim, determinada a amostra, o ensaio granulométrico foi regido pela NBR 7181, Solo – Análise Granulométrica. Ela prescreve o método para a análise granulométrica de solos, realiza por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento (ABNT, 1984). Desse modo, seguindo os procedimentos da já referida norma, pôde-se obter as curvas granulométricas de cada material.

4.2.3 Teor de umidade

O teor de umidade é a quantidade água por unidade de massa. Dentro dessa abordagem teórica, sua determinação seguiu os procedimentos fornecidos na NBR 6457/1986.

A equação 1 utilizada para a obtenção desse parâmetro foi a seguinte:

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} * 100 \quad (1)$$

Onde:

h = teor de umidade, em %;

M_1 = massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g;

M_2 = massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g;

M_3 = massa do recipiente (cápsula metálica com tampa ou par de vidro de relógio com grampo), em g.

Com relação à diversidade e às especificações de aparelhagem a ser utilizada para a execução do ensaio fez-se uso de cápsulas metálicas e balança com resolução de 0,01 g.

4.2.4 Massa específica

A NBR 6508/1984 prescreve o método de determinação de massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm por meio de picnômetro, através da realização de pelo menos dois ensaios (ABNT, 1984).

Para o cumprimento desse ensaio foi preciso fazer algumas adaptações nas aparelhagens, visto que o laboratório não continha os dispositivos sugeridos pela norma.

A funcionalidade do dispersor foi realizada manualmente, agitando a mistura. Além disso, o picnômetro de 500 ou 1000 cm³ foi substituído por um balão volumétrico de 250 ml. Contudo, apesar da ausência de tais equipamentos, os ensaios foram realizados da forma mais rigorosamente possível. Os demais equipamentos estavam disponíveis para uso.

Para calcular a massa específica dos materiais fez-se uso da equação 2 a seguir:

$$\delta = \frac{M_1 * 100 / (100 + h)}{\left[M_1 * \frac{100}{100 + h} \right] + M_3 - M_2} * \delta_T \quad (2)$$

Onde:

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³;

M_1 = massa do solo úmido, em g;

M_2 = massa do balão volumétrico + solo + água, na temperatura T de ensaio;

M_3 = massa do balão volumétrico cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;

h = umidade inicial da amostra;

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio, obtida em Anexo A.

4.2.5 Dosagem do Concreto

Para se conseguir um concreto com boas características é necessário que haja uma combinação correta entre os materiais que o compõem. O processo de dosagem proporciona a obtenção de um produto que atende a certos requisitos pré-determinados. Essa prática, por sua vez, pode ser considerada satisfatória, visto a gama de propriedades que podem ser melhoradas e a considerável redução no seu custo de produção.

Existem diversos métodos para o cálculo de dosagens do concreto. Segundo Mehta (2014), o método recomendado pelo *American Concrete Institute* (ACI) é aceito nos Estados Unidos e em muitos outros países do mundo.

O método do peso é considerado menos preciso, mas não requer informações sobre a massa específica dos materiais usados na produção do concreto. O método do volume absoluto é considerado mais preciso. Os dois procedimentos envolvem uma sequência de nove passos dos quais os seis primeiros são comuns a ambos os procedimentos. (MEHTA, 2014).

Ele especifica, ainda, que a granulometria dos agregados miúdos e graúdos, módulo de finura, a massa unitária do agregado graúdo no estado compacto seco, a massa específica dos

materiais, a capacidade de absorção ou umidade livre no agregado, a variação aproximada da água de amassamento com o abatimento, teor de ar e granulometria dos agregados disponíveis, a relação entre resistência e a relação água/cimento e as especificações da obra, se existentes, são informações imprescindíveis antes de se iniciarem os cálculos.

Sucintamente, a dosagem é a seleção dos componentes adequados entre os materiais disponíveis e determinação da combinação mais econômica que produzirá o concreto com certas características mínimas de desempenho.

A quantidade dos componentes do traço requerido pode ser calculada usando-se a sequência explanada a seguir.

4.2.5.1 Escolha do abatimento

A escolha do abatimento foi feita pela Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Abatimento recomendado para vários tipos de construção.

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes da vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

Fonte: Autora (adaptado de Mehta, 2014).

Mehta (2014) ressalta que devem ser usadas misturas com a consistência mais seca possível, mas que possam ser facilmente lançadas e compactadas sem segregação.

Considerando a tabela acima, o estudo foi realizado em função do intervalo que abrange a maioria dos tipos de construções – abatimento máximo de 75 mm e mínimo de 25 mm. Sendo assim, foi adotado um valor médio de 50 mm.

4.2.5.2 Escolha da dimensão máxima característica do agregado

Para um mesmo volume de agregados graúdos, o uso de agregados com dimensão maior, desde que bem graduado, produzirá menos espaços vazios que agregados de dimensão menor, reduzindo, assim, a quantidade de argamassa necessária na dosagem do concreto (MEHTA, 2014). Em geral, a dimensão máxima do agregado graúdo deve ser a maior considerada economicamente viável e consistente com as dimensões da estrutura.

Considerou-se o uso da brita 1 na confecção dos corpos de prova. Segundo a empresa Votorantim (2012), a brita 1, utilizada em grande escala na confecção de massa asfáltica e concretos em geral, apresenta dimensão máxima de 19mm, sendo este o valor utilizado para calcular os traços utilizados.

4.2.5.3 Estimativa do consumo de água de amassamento e o teor de ar

De acordo com as recomendações do ACI, a quantidade de água de amassamento por volume unitário de concreto necessária para produzir um determinado abatimento depende, principalmente, da dimensão máxima das partículas do agregado e da presença ou não de ar incorporado na mistura (MEHTA, 2014).

A Tabela 4 apresenta dois conjuntos de dados sobre o consumo de água para concretos com e sem ar incorporado.

Tabela 4. Requisitos aproximados do consumo de água e teor de ar para diferentes abatimentos e dimensão nominal máxima dos agregados.

Consumo de água, em kg/m³ de concreto para as dimensões nominais máximas de agregados indicados.								
Abatimento, mm	9,5	12,5	19,0	25,0	37,5	50,0	75,0	150,0
Concreto sem ar incorporado								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Mais de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Quantidade aproximada de ar aprisionado no concreto sem ar incorporado %	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Concreto com ar incorporado								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Mais de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Médias recomendadas do teor total de ar, %, por nível de exposição:								
Exposição amena	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: Autora (adaptado de Mehta, 2014).

Considerando, portanto, um concreto sem ar incorporado com abatimento médio de 50 mm, como determinado anteriormente, o consumo de água foi de 190 kg/m³.

Consequentemente, a quantidade aproximada de ar aprisionado no concreto sem ar incorporado correspondeu a 2%.

4.2.5.4 Seleção da relação água/cimento

Diferentes tipos de agregados podem apresentar resistência diferente quanto a uma mesma relação água/cimento. É importante, então, estabelecer uma relação entre a resistência e a proporção de água/cimento nos materiais que serão utilizados na produção. Conforme Tabela 5 foi possível obter esse parâmetro.

Tabela 5. Relações entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto.

Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa)	Relação água/cimento, em massa	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Fonte: Autora (adaptado de Mehta, 2014).

Considerando aplicação do material em ambiente com classe de agressividade 2 (CAA-II), tem um concreto C25, isto é, com $f_{ck} = 25$ MPa, como mostra a Tabela 6 retirada da NBR 6118/2014.

Tabela 6. Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: Autora (adaptado de ABNT, 2014).

Sendo assim, para $f_{ck} = 25$ MPa, a relação água/cimento em um concreto sem ar incorporado é de 0,61.

4.2.5.5 Estimativa do consumo de cimento

O consumo de cimento pode ser calculado dividindo-se o consumo de água na mistura pela relação água/cimento, ambos obtidos anteriormente. Sendo assim, pela equação 3, tem-se que:

$$\begin{aligned}
 R_{a/c} &= \frac{a}{c} \\
 0,61 &= \frac{190 \text{ kg/m}^3}{c} \\
 c &= \frac{190 \text{ kg/m}^3}{0,61} \\
 c &= 311,475 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned} \tag{3}$$

Onde:

a = consumo de água, em kg/m³

R_{a/c} = relação água/cimento, adimensional.

c = consumo de cimento, em kg/m³

O consumo de cimento foi, portanto, de 311,475 kg/m³.

4.2.5.6 Estimativa do consumo de agregado graúdo

O uso do máximo volume possível de agregado graúdo numa mistura de concreto permite uma economia relevante. De acordo com a Tabela 7, o volume de agregado graúdo em um volume unitário de concreto pode ser estimado a partir de sua dimensão máxima de agregado e do módulo de finura do agregado miúdo (MEHTA, 2014).

Tabela 7. Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto.

Dimensão máxima do agregado (mm)	Volume de agregados graúdos secos por unidade de concreto, para diferentes módulos de finura de areia			
	Mfareia = 2,40	Mfareia = 2,60	Mfareia = 2,80	Mfareia = 3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
100,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: Autora (adaptado de Mehta, 2014).

Segue equação 4 referente a tal parâmetro.

$$\frac{Vol_{agregados}}{Vol_{concreto}} \quad (4)$$

Esse volume foi convertido em peso seco do agregado graúdo multiplicando-se ao valor da massa unitária da brita escolhida no estado compactado seco (equação 5), que, segundo Bastos (1999), corresponde um valor de 1,65 kg/dm³.

$$Peso\ seco_{AG} = \frac{Vol_{agregados}}{Vol_{concreto}} * (massa\ unitária\ no\ estado\ compacto\ seco) \quad (5)$$

4.2.5.7 Estimativa do consumo de agregado miúdo

Após determinar todos os componentes da mistura do concreto, pode-se obter a estimativa do consumo de agregado miúdo pela diferença através do método do volume absoluto. Isto é, o volume total ocupado pelos componentes conhecidos (água, ar, cimento e agregado graúdo) é subtraído do volume unitário de concreto para que se obtenha o volume necessário de agregado miúdo (MEHTA, 2014). Como especificado nas equações 6 e 7 a seguir.

$$\gamma_{concreto} = \gamma_{água} + \gamma_{cimento} + \gamma_{ag.graúdo} + \gamma_{ag.miúdo} \quad (6)$$

Rearranjando,

$$\gamma_{ag.miúdo} = \gamma_{concreto} - \gamma_{água} - \gamma_{cimento} - \gamma_{ag.graúdo} \quad (7)$$

Esse valor, por sua vez é convertido em unidades de massa se multiplicado pela massa específica do material. Ressalta-se que como não se tem uma estimativa confiável da massa específica do concreto, pôde-se obter pela Tabela 8.

Tabela 8. Estimativa inicial da massa específica do concreto no estado fresco.

Dimensão máxima do agregado (mm)	Estimativa inicial de massa específica do concreto fresco, em kg/m³.	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19,0	2345	2275
25,0	2380	2290
37,5	2410	2350
50,0	2445	2345
75,0	2490	2405
100,0	2530	2435

Fonte: Autora (adaptado de Mehta, 2014).

Ela estabelece valores baseados numa primeira dosagem de concreto de resistência moderada, abatimento médio e massa específica do agregado de aproximadamente 2,7kg/dm³. Então, com a dimensão máxima dos agregados sendo de 19 mm e sabendo que o estudo trata de um concreto sem ar incorporado, o valor da estimativa inicial de massa específica do concreto no estado fresco, tirado da tabela, foi de $\gamma = 2345 \text{ kg/m}^3$.

4.2.5.8 Método do volume absoluto

Os volumes deslocados pelos materiais podem ser calculados pela equação 8 abaixo.

$$\text{Vol. deslocado} = \frac{\text{estimativa de consumo de } x}{\text{massa específica do material } x} \quad (8)$$

Onde:

X = valor correspondente a cada elemento calculado.

O Quadro 1 a seguir aponta a massa específica dos materiais comumente utilizados no processo produtivo do concreto.

Quadro 1. Massa específica dos materiais utilizados na composição dos traços.

Componentes	Massa específica (g/cm³)
Água	1,0
Cimento ¹	3,01
Agregado graúdo ²	2,698
Areia ³	2,6

Fonte: Autora.

¹Como a Fábrica de Cimento Mizu não respondeu as mensagens quanto às especificações técnicas de seu produto, foi adotado o valor de massa específica do Cimento Nassau de características semelhantes.

²Segundo Bauer (2013)

³Segundo Bastos (1999)

Contudo, cabe ressaltar que o volume deslocado pela areia foi calculado diferente dos demais. Isto porque a substituição dos resíduos corresponde a uma porcentagem de sua utilização. Nesse contexto, as equações 9 e 10 foram utilizadas para encontrar tal valor e poder calcular a massa a ser substituída pelos resíduos.

$$Vol. deslocado pela areia = 1000 - (vol. desl. areia + vol. desl. cimento + vol. desl. agreg. graúdo + vol. desl. ar) \quad (9)$$

$$Massa de areia = Vol. desl. areia * massa específica da areia \quad (10)$$

4.2.5.9 Estimativa do consumo de resíduos

Como a substituição determinada para o estudo foi de 50% do agregado miúdo, o cálculo procedeu seguindo as equações 11 e 12.

$$Vol_{areia} = 50\% * vol. deslocado da areia * PE_{areia} \quad (11)$$

$$Vol_{res} = 50\% * vol. deslocado da areia * PE_{res} \quad (12)$$

Onde:

PE = peso específico do material.

4.2.6 Mistura do traço

Inicialmente, foi misturado o traço referência para fazer a comparação dos resultados com os corpos de provas com os resíduos em substituição de 50% da areia, moldados posteriormente.

Para realizar a mistura dos traços, foi necessário o uso de baldes de tamanhos variados para transporte dos materiais e auxílio na pesagem. Estes, e os demais materiais, foram, primeiramente, pesados em uma balança digital com capacidade de carga de 10 kg.

Após pesados, os materiais foram colocados na betoneira de eixo inclinado na seguinte ordem:

- O agregado graúdo e 50% da água foram introduzidos com a betoneira parada e misturada por 1 minuto;

- Depois foram colocados, com a betoneira ainda movimento, todos os outros materiais – areia, cimento, água e resíduo (quando houve) –, e mantida a rotação por mais 5 minutos.

A descarga do concreto fresco foi realizada em bandejas de alumínio de superfície limpa e não absorvente.

4.2.7 Moldagem dos corpos de prova

De forma cilíndrica e material não absorvente, os moldes apresentavam diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Foram moldados, no dia 24 de outubro de 2016, 4 corpos de prova de cada traço: 2 para rompimento ao 7º dia e 2 para o 28º dia. O procedimento de moldagem dos corpos de prova foi realizado baseado na NBR 5738/2003: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.

Antes de proceder à moldagem dos corpos-de-prova, os moldes e suas bases foram internamente revestidos com uma fina camada de óleo mineral. Após garantir a uniformidade pela remistura da massa, o concreto foi colocado dentro dos moldes em três camadas aproximadamente iguais. A cada camada colocada, o adensamento foi feito utilizando-se uma haste de aço, cilíndrica, e distribuindo 12 golpes. O rasamento do corpo de prova foi feito passando a haste deitada pela borda superior do molde.

Vale salientar que, a fim de eliminar os prováveis vazios existentes no corpo de prova (Figura 14), a haste foi batida levemente na face externa do molde.

Figura 14. Corpos de provas moldados e rasados.



Fonte: Autora.

Após um período de 24 horas sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que perturbasse o concreto, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 15), identificados, e submetidos ao processo de cura inicial (Figura 16) por imersão à uma temperatura de $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 15. Corpos de prova desmoldados.



Fonte: Autora.

Os corpos de prova foram retirados da câmara de cura, e conservados ao ar livre, com 24 horas antes do rompimento.

Figura 16. Corpos de prova em processo de cura por imersão.



Fonte: Autora.

4.2.8 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão é uma das propriedades mecânicas mais abordadas e que tem bastante importância na caracterização do concreto no estado endurecido.

Antes de ensaiar os corpos-de-prova, é imprescindível preparar suas bases, de modo que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo-de-prova (ABNT, 2003).

Sendo, assim, antes do rompimento propriamente dito, os corpos de prova passaram pelo processo de retificação na Universidade Potiguar (UNP), Mossoró/RN, como mostra a Figura 17. A retificação é o processo de remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado e deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos (ABNT, 2003).

Figura 17. Retificadora de corpos de prova e seu respectivo produto finalizado.



Fonte: Autora.

Nesse interim, os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova foram posteriormente realizados no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, Mossoró/RN, com idade de 7 e 28 dias de cura. Foi utilizada a máquina EMIC SSH300 (prensa servo-hidráulica e informatizada para ensaio de concreto), com capacidade máxima de 200 toneladas e resolução de leitura 0,1 kN. A Figura 18 mostra a máquina utilizada e uma amostra de corpo de prova já rompido.

Figura 18. Equipamento para resistência à compressão e corpo de prova já rompido.



Fonte: Autora.

Os pratos e corpos de prova foram limpos e secos e centralizados no prato inferior para dar início aos ensaios. A velocidade de carregamento foi mantida constante durante todo o ensaio até que houvesse uma queda de força indicando sua ruptura.

Sabendo-se, portanto, que:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi * D^2}{4}} \quad (13)$$

Onde:

σ = Tensão;

A = área do corpo de prova;

F = força aplicada sobre o corpo de prova;

π = pi;

D = diâmetro do corpo de prova.

A resistência à compressão foi, por fim, calculada pela equação 13.

$$f_{ck} = \frac{4 * F}{\pi * D^2} \quad (14)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

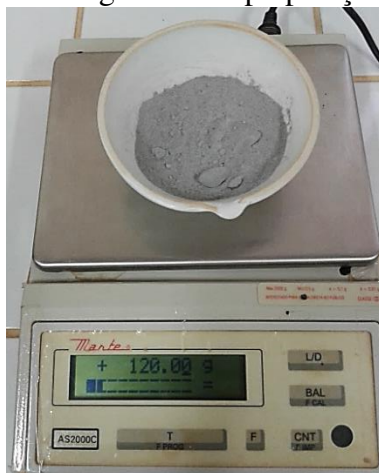
Os resultados apresentados em seguida são frutos das análises laboratoriais realizadas por meio das Normas Regulamentadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas e dos métodos de cálculo utilizados. Busca, por fim, estabelecer conexão entre os elementos estudados e a real influência dos materiais usados como substituição parcial da areia nos concretos.

Para melhor acompanhamento dos resultados, os dados estão descritos acompanhando a sequência de tópicos expostos na Metodologia.

5.1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO

Como citado na metodologia, a preparação das amostras seguiu a NBR 6457. A Figura 19 expõe a amostra de um dos resíduos sendo preparada para a realização dos ensaios de caracterização aqui estabelecidos. A balança utilizada apresenta resolução de 0,01g.

Figura 19. Amostra de granito em preparação para os ensaios.



Fonte: Autora.

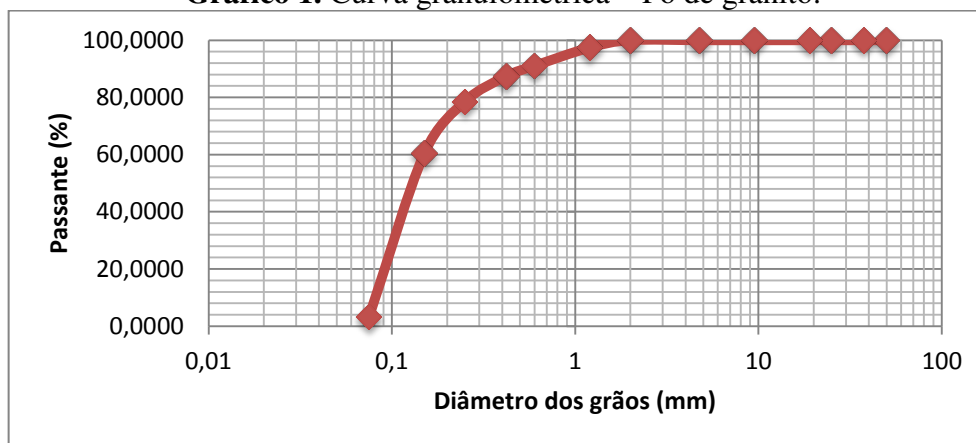
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Seguindo os procedimentos das normas NBR 6457/1986 e NBR 7181/1984 pôde-se realizar a análise granulométrica dos resíduos em estudo. A Tabela 9 e o Gráfico 1 mostram os resultados encontrados com os ensaios para o resíduo de granito obtido em uma marmoraria.

Tabela 9. Composição granulométria do pó de granito.

Peneiras (mm)	PÓ DE GRANITO				
	FRAÇÃO RETIDA	% RETIDA	% RET. ACUMULADA	FRAÇÃO PASSANTE	% PASSANTE
50	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
37,5	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
25	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
19	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
9,5	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
4,75	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
2	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
1,2	0,0257	2,5692	2,5692	0,9743	97,4308
0,6	0,0638	6,3830	8,9522	0,9105	91,0478
0,42	0,0365	3,6532	12,6054	0,8739	87,3946
0,25	0,0883	8,8318	21,4372	0,7856	78,5628
0,15	0,1823	18,2256	39,6628	0,6034	60,3372
0,075	0,5705	57,0454	96,7081	0,0329	3,2919
Fundo	0,0329	3,2919	100,0	0,0	0,0

Fonte: Autora.

Gráfico 1. Curva granulométrica – Pó de granito.

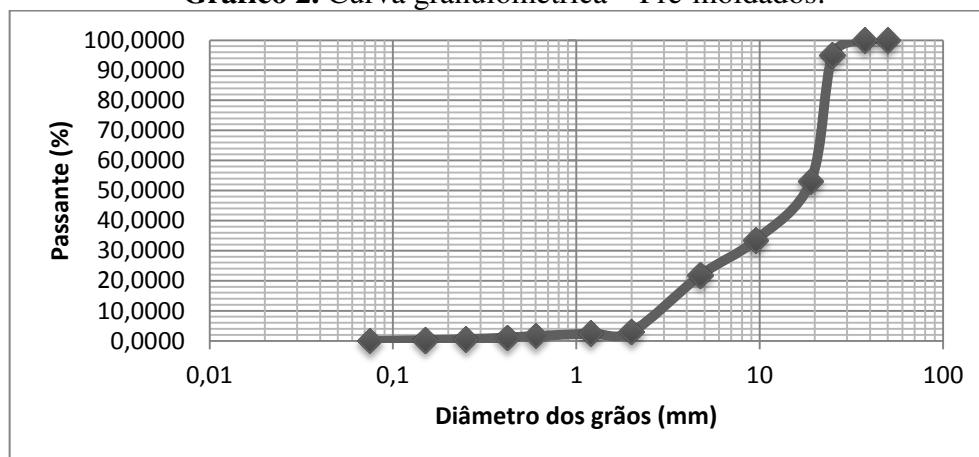
Fonte: Autora.

A Tabela 10 e o Gráfico 2 mostram os resultados encontrados para o resíduo obtido na fábrica de pré-moldados.

Tabela 10. Composição granulométria do material pré-moldado.

Peneiras (mm)	PRÉ-MOLDADOS				
	FRAÇÃO RETIDA	% RETIDA	% RET. ACUMULADA	FRAÇÃO PASSANTE	% PASSANTE
50	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
37,5	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
25	0,0506	5,0569	5,0569	0,9494	94,9431
19	0,4191	41,9127	46,9696	0,5303	53,0304
9,5	0,1954	19,5394	66,5091	0,3349	33,4909
4,75	0,1168	11,6845	78,1936	0,2181	21,8064
2	0,1885	18,8525	97,0460	0,0295	2,9540
1,2	0,0054	0,5416	97,5876	0,0241	2,4124
0,6	0,0077	0,7738	98,3615	0,0164	1,6385
0,42	0,0056	0,5566	98,9180	0,0108	1,0820
0,25	0,0052	0,5152	99,4332	0,0057	0,5668
0,15	0,0034	0,3390	99,7721	0,0023	0,2279
0,075	0,0022	0,2244	99,9966	0,0	0,0034
Fundo	0,0	0,0034	100,0	0,0	0,0

Fonte: Autora.

Gráfico 2. Curva granulométrica – Pré-moldados.

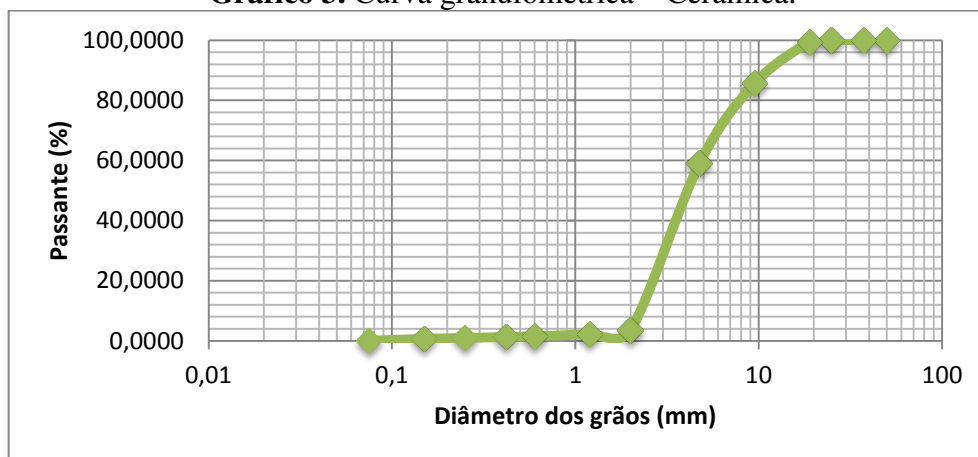
Fonte: Autora.

E, por último, mas não menos importante, a Tabela 11 e o Gráfico 3 mostram os resultados encontrados para o resíduo obtido na fábrica de artigos cerâmicos (tijolos, telhas, etc).

Tabela 11. Composição granulométria do material cerâmico.

Peneiras (mm)	CERÂMICA				
	FRAÇÃO RETIDA	% RETIDA	% RET. ACUMULADA	FRAÇÃO PASSANTE	% PASSANTE
50	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
37,5	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
25	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0
19	0,0063	0,6339	0,6339	0,9937	99,3661
9,5	0,1375	13,7476	14,3814	0,8562	85,6186
4,75	0,2665	26,6542	41,0357	0,5896	58,9643
2	0,5539	55,3898	96,4255	0,0357	3,5745
1,2	0,0129	1,2939	97,7194	0,0228	2,2806
0,6	0,0075	0,7497	98,4691	0,0153	1,5309
0,42	0,0025	0,2480	98,7171	0,0128	1,2829
0,25	0,0032	0,3230	99,0400	0,0096	0,9600
0,15	0,0031	0,3062	99,3462	0,0065	0,6538
0,075	0,0062	0,6249	99,9712	0,0003	0,0288
Fundo	0,0003	0,0288	100,0	0,0	0,0

Fonte: Autora.

Gráfico 3. Curva granulométrica – Cerâmica.

Fonte: Autora.

Pelas curvas, os materiais podem ser classificados em solo fino (silte ou argila) arenoso, pedregulho com presença de areia e solo arenoso com presença de pedregulho, respectivamente. Entretanto, vale salientar que a porção utilizada para os ensaios foi toda correspondente a fração arenosa dos materiais, já que a substituição foi realizada em parte do volume da areia.

5.3 TEOR DE UMIDADE

Utilizando a equação 1 citada no tópico 4.2.3, pôde-se determinar os valores de teor de umidade (Tabela 12) utilizados para o cálculo da massa específica.

Tal parâmetro foi obtido seguindo a NBR 6508/1984 que faz referência a NBR 6457/1986.

Tabela 12. Teor de umidade obtido por ensaios.

MATERIAL	CÁPSULA (G)	COM MATERIAL NATURAL (G)	COM MATERIAL SECO (G)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA
M1	79,82	109,83	109,82	0,0333	0,0222
M2	78,98	108,97	108,97	0,0000	
M3	76,54	106,58	106,57	0,0333	
PM1	81,33	111,30	110,88	1,4213	1,4644
PM2	83,07	113,07	112,64	1,4542	
PM3	79,25	109,35	108,90	1,5177	
C1	82,10	112,10	112,03	0,2339	0,2225
C2	81,53	111,59	111,53	0,2000	
C3	81,23	111,26	111,19	0,2336	

Fonte: Autora.

M, PM e C referem-se às amostras de granito, pré-moldado e cerâmica, respectivamente. Ambas com três amostras para a realização do ensaio.

5.4 MASSA ESPECÍFICA

Na realização desse ensaio encontrou-se algumas dificuldades quanto à instrumentação. Por exemplo, o picnômetro teve de ser substituído pelo balão volumétrico de 250 mL, conseqüentemente, a amostra diminuiu pela metade, tomando 25g do material a ser ensaiado. Este, sendo o parâmetro M1 utilizado na equação de massa específica.

Outro exemplo foi a dispersão. Também por falta do equipamento, o procedimento foi feito em um becker. Dando continuidade a sequência da NBR 6508/1984, fez-se uso da bomba à vácuo, em 88kPa, para extrair o ar da amostra, para assim, obter a massa específica do solo. A bomba a vácuo é uma máquina que pode criar um vácuo em uma câmara de bombeamento de moléculas de gás para fora da câmara (SARAIWA, 2011).

Foram realizados ensaios de duas amostras para cada material. A Figura 20 apresenta uma das amostras sendo ensaiada.

Figura 20. Amostra de pré-moldado sendo ensaiada para obtenção de massa específica segundo NBR 6508/1984.



Fonte: Autora.

De acordo com a norma, é preciso agitar o equipamento com o material em intervalos iguais de tempo durante os primeiros 15 minutos. Considerando isso, o balão volumétrico foi agitado em intervalos regulares de tempo de 3 min e, por conseguinte, exposto à bomba a vácuo por mais 15 minutos, agora com água até 1cm abaixo da linha de referência.

É válido frisar que, os ensaios das amostras saturadas dos resíduos pré-moldados, observou-se um excesso de “espuma” sobre a solução, ainda que utilizada a bomba de vácuo. Assim, deu-se continuidade mantendo a espuma adquirida na amostra acima da linha de referência do balão volumétrico. Para fins do resultado de sua massa, foi desprezado o peso do ar. A Tabela 13 contém os valores de massa + solo + água após bomba a vácuo, temperatura e massa específica da água segundo a tabela em anexo da norma.

Tabela 13. Valores de massa do balão volumétrica + resíduos + água, temperatura e massa específica da água correspondente.

RESÍDUOS	MASSA 2 (g)		TEMPERATURA (C°)		MASSA ESPEC. ÁGUA (g/cm³) δT	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
PÓ DE GRANITO	392,27	392,33	26,6	26,3	0,9967	0,9967
PREMOLDADOS	393,05	392,49	25,8	26,3	0,9969	0,9967
CERÂMICA	392,07	392,01	26,1	26	0,9968	0,9968

Fonte: Autora.

Cabe salientar que o valor de M_3 , balão volumétrico cheio de água até a marca referência, na temperatura T de ensaio, correspondeu a 376,5g. Dessa forma, os valores de massa específica calculados estão contidos na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14. Massa específica dos grãos do solo.

	PÓ DE GRANITO (g/cm³)	PRÉ-MOLDADOS (g/cm³)	CERÂMICA (g/cm³)
δ1	2,701	3,036	2,652
δ2	2,717	2,766	2,626
δ MÉDIA	2,709	2,901	2,639

Fonte: Autora.

5.5 DOSAGEM DO CONCRETO

Adotando o método de cálculo de dosagem explicado por Mehta (2014), pôde-se calcular o traço inicial para uso geral dessa pesquisa (Tabela 15). O mesmo foi calculado para uma resistência de 25MPa, com brita 1 e sem aditivo plastificante.

Vale salientar que os traços iniciais para os resíduos foram calculados em função da substituição de 50% do volume da areia.

Tabela 15. Traços utilizados para análises.

Material	TRAÇOS UTILIZADOS (kg/m³)			
	TRAÇO REFERÊNCIA	GRANITO	PRÉ-MOLDADO	CERÂMICA
Brita 1	1023	1089	990	990
Areia	799,113	399,555	399,555	399,555
Resíduo	-	416,307	445,811	405,548
Cimento	311,475	311,475	311,475	311,475
Água	190	190	190	190
Fator a/c			0,61	
TRAÇO (cimento:areia:resí duo:brita:água)	1:2,75:3,28:0,61	1:1,28:1,34:3,5:0,81	1:1,28:1,43:3,18:0,61	1:1,28:1,3:3,18:0,69

Fonte: Autora.

É importante frisar que a quantidade de água para os traços com resíduos de granito e cerâmica foi alterada devido à baixa trabalhabilidade apresentada durante a mistura dos componentes na betoneira. Dessa forma, o fator água cimento para o granito e para a cerâmica passou a ser de 0,81 e 0,69, respectivamente.

5.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.

A resistência do concreto à compressão (f_{ck}) é um parâmetro importante utilizado para o cálculo estrutural de uma edificação.

O Quadro 2 mostra como os corpos de prova foram identificados. Vale ressaltar que foram moldados dois corpos de prova para cada tipo de resíduo empregado.

Quadro 2. Identificação dos corpos de prova.

TRAÇOS	IDENTIFICAÇÃO
Referência	CP I
Granito	CP II
Cerâmica	CP III
Pré-Moldados	CP IV

Fonte: Autora.

O ensaio foi realizado no dia 31 de outubro de 2016 e, com eles, foi possível obter os valores de compressão, pelo procedimento de ruptura conforme a norma NBR 5739/2007, para os diferentes corpos de prova que estavam identificados e armazenados por imersão.

Nesse contexto, o ensaio correspondeu a uma aplicação de carga gradual até atingir seu ponto de ruptura. Dividindo esse valor pela área do corpo de prova, em mm², foi possível obter, a tensão em kN/mm². Multiplicando-se este valor por 1000 obtém-se a resistência em MPa. Os Anexos B, C, D, E, F, G, H, e I mostram os relatórios de ensaios da determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova de concreto com incorporação de resíduos, bem como a Tabela 16 a seguir.

Tabela 16. Parâmetros obtidos a partir do ensaio de compressão.

CORPO DE PROVA		FORÇA MÁXIMA APLICADA (kN)		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		MÉDIA (MPa)	
		7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Traço Referência	CPI	127,20	121,23	16,20	15,44	16,17	19,95
	CPI	126,78	192,21	16,14	24,47		
Granito	CPII	91,36	121,51	11,63	15,47	11,03	12,30
	CPII	81,87	71,68	10,42	9,13		
Cerâmica	CPIII	135,78	200,78	17,29	25,56	18,11	28,66
	CPIII	148,71	249,35	18,93	31,75		
Pré-moldados	CPIV	169,72	219,69	21,61	27,97	20,20	28,20
	CPIV	147,58	223,34	18,79	28,44		

Fonte: Autora.

Conforme a Asamix (2015) existem alguns concretos mais indicados para cada fim, como:

Concreto $f_{ck} = 20$ MPa com brita 1: Indicado para contrapiso, calçada e laje, desde que não seja construído outro pavimento sobre a mesma.

Concreto $f_{ck} = 25$ MPa com brita 1: Pode ser usado na laje que terá um segundo pavimento construído sobre a mesma. Também pode ser usado em pisos, colunas, baldrame, sapatas e radier.

Concreto $f_{ck} = 30$ MPa com brita 0 ou brita 1: Tem maior resistência que os outros traços, geralmente utilizado para concretar a base de casas que tenham mais de dois pavimentos. É usado com maior frequência em baldrames, sapatas e radier. Também é usado em pisos como os de posto de gasolina, que tenham tráfego de veículos pesados, como caminhões e caminhonetes ou em galpões, que também precisam de maior resistência.

Nesse contexto, pode-se observar que o traço referência resultou em uma resistência um pouco abaixo do esperado. Melhorando o adensamento o mesmo chegaria aos 25 MPa, já que um dos corpos de prova que foi melhor adensado se mostrou apto à utilização. Com relação aos concretos com resíduo de cerâmica e de pré-moldados, por sua vez, tiveram resistência bastante elevada em relação ao traço referência, conferindo, portanto a sua viabilidade de utilização em novos elementos construtivos, como os casos pontuados acima. No entanto, é importante verificar a durabilidade do material.

Outro setor de utilização para o concreto com cerâmica são as ciclovias. Como a ABCP (2006) especifica, a resistência à compressão para calçadas tem de ser $f_{ck} \geq 20$ MPa, desde que respeite a espessura do concreto de 5 a 6 cm para tráfego de pedestres e 8 a 10 cm para passagem de veículos leves. Além disso, a coloração desse material confere à estrutura uma diminuição no consumo de tinta que seria utilizado em função da sinalização, como mostra a Figura 21 abaixo.

Figura 21. Corpo de prova de cerâmica.



Fonte: Autora.

Em contrapartida, o traço para granito teve uma resistência relativamente baixa devido ao acréscimo de água não considerado no início da dosagem. Isto é, de acordo com Mehta (2014), a adição da água a uma mistura de concreto rígida, para uma dada quantidade de cimento, melhorará a fluidez do concreto no estado fresco, mas, ao mesmo tempo, reduzirá a sua resistência quando no estado endurecido. A água que não foi inicialmente considerada na dosagem é, frequentemente, responsável pela falha do concreto quanto ao desempenho.

Apesar disso, se o concreto ainda assim apresentar resistência de 18 MPa tem utilização permitida em fundações e obras provisórias (NAKAMURA, 2004). Assim sendo, ajustando a quantidade de água de modo que não afete a sua trabalhabilidade e/ou substituindo a água por algum aditivo, a resistência do concreto com incorporação do pó de granito pode ser regulada a ponto de ser aplicada em tais estruturas.

6. CONCLUSÃO

A consolidação desse trabalho permitiu a verificação do eficiente processo de reciclagem e reutilização de resíduos da Construção Civil. Tal processo reduz o custo da construção viabilizando projetos de interesse social, bem como os problemas de poluição existentes frente a essa problemática. Todavia, é necessário ter cuidado com a substituição dos materiais convencionais pelos reciclados, pois suas propriedades geralmente diferenciam destes.

De uma forma genérica, a partir dos resultados obtidos, pôde-se observar a viabilidade da produção de concreto com parcial substituição da areia por resíduos da indústria da construção.

Apesar dos materiais possuírem uma granulometria com maior quantidade de finos em relação à areia, eles apresentaram uma massa específica satisfatória à realização dos ensaios de compressão, isto é, compatível com a massa específica da areia, já que serão substituídos em parte de seu volume. Contudo, a trabalhabilidade não foi a mesma. Esta, relacionada com a distribuição granulométrica, partindo-se de que uma grande concentração de material fino gera um aumento na demanda de água.

O granito e cerâmica, por exemplo, necessitaram de um acréscimo de água, além do que foi calculado na dosagem, para que fosse possível obter uma mistura de consistência mais trabalhável. Porém, o acréscimo de 500g de água nos corpos de prova com granito foi além do que a mistura de concreto pedia. Apesar de a trabalhabilidade ter melhorado, a sua resistência foi comprometida. Ao contrário do corpo de prova com resíduo de cerâmica que o acréscimo de 200g de água não alterou a resistência quanto era esperado.

Em compensação, o resíduo de pré-moldado manteve a trabalhabilidade esperada de acordo com a dosagem calculada. Foi, portanto, o que teve maior destaque em relação à sua substituição nos componentes do concreto convencional, pois apresentou uma resistência bastante elevada até mesmo em relação ao traço referência. A explicação provável para isso é o fato do material incorporado já ter cimento em sua composição, fazendo aumentar ainda mais a sua resistência mecânica.

Portanto, após a análise de todos os resultados tratados e visto as vantagens da reciclagem dos resíduos estudados, concluiu-se que ambos os materiais se apresentam como provável elemento de substituição de agregados. Tal ação, além de proporcionar economia na produção do concreto e fornecer alternativas para o mercado, traz benefícios ao meio

ambiente no que condiz a redução de uso da areia natural e ao descarte irregular dos rejeitos da indústria da construção.

Entretanto, para melhor caracterização dos materiais e especificações de uso, é importante realizar outros testes para o material, como: durabilidade, porosidade e resistência à abrasão, principalmente se tiver em vista o uso em conjunto com o aço. E, quando se trata de concreto armado, no caso menos agressivo, por exemplo, a NBR 6118/2014 exige concreto com resistência mínima de 20 MPa, podendo chegar a 40 MPa para agressividade nível IV.

É cabível ressaltar, que o emprego é específico para cada material. Isto é, devido à diferença de resistência, cada um tem um setor de aplicação mais adequado, como foi abordado nos resultados.

Em suma, os benefícios do concreto produzido com o reaproveitamento de resíduos são de caráter, ambiental, econômico e principalmente social, sendo esse o objetivo da engenharia: construir utilizando os recursos da natureza de forma consciente e promovendo total bem-estar da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. São Paulo. ABRELPE, 2015. 92 f.

ALMEIDA, S. L. M; SILVA, V. S. **Areia artificial**: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado de agregados. In: II SUFFIB SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. Anais do II SIFFIB. São Paulo, 2005.

ASAMIX. **Saiba qual concreto usar em sua obra conforme a aplicação**. 2015. Disponível em: <<http://www.asamix.com.br/o-melhor-concreto-bombeado-para-cada-tipo-de-obra-em-belo-horizonte-e-regiao-metropolitana/>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Sistemas Integrados de Calçadas**. São Paulo. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 13p.

_____. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

_____. **NBR 6457**: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.

_____. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 1984. 8p.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1984. 13p.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia, Rio de Janeiro, RJ, 2011. 16p.

_____. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

_____. **NBR 12.655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006. 22p.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção**. V 1. 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 488p.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço**. 1999. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e

procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. In: BRASIL. MMA. CONAMA. Resoluções do CONAMA. Brasília: MMA - Secretaria Executiva - CONAMA, 2006.

BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei no. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui apolítica nacional dos resíduos sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 out. 2016.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção** / Rafael Tello; Fabiana Batista Ribeiro. - Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012.160p.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO (CMN). **NM 137: Argamassa e Concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.** In: BRASIL. CMN. 1997. 20 p.

CONAMA. **O que é o CONAMA?** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 14 out. 2016.

CORBIOLI, N. (1996). Do caos à solução. *Construção*, São Paulo n.2505, p.4-7,

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil.** 2009. 70f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2009. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/sustentabilidade%20na%20construoe7%e3o%20civill.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016

DUARTE, J. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland.** 2013, 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Natal.

FIERN. **Sondagem Especial do RN: Indústria da Construção.** Sondagem Especial CNI/FIERN - Ano 3, nº 3, dezembro de 2013.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** Cap. 29. In: ISAIA, G. C. (Ed.). CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON. 2010.

ISOLINE. **Conama Passa a Considerar o Gesso Como Material Reciclável.** 2011. Disponível em: <<http://www.isoline.com.br/conama-passa-a-considerar-o-gesso-como-material-reciclavel/>>. Acesso em: 08 out. 2016

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** São Paulo: USP, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2001.

MACHADO, Gleysson B.. **Definição de Resíduos da Construção Civil no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/definicao-de-residuos-da-construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso em: 08 out. 2016.

MACIEL, Camila. **Produção de lixo no país cresce 29% em 11 anos, mostra pesquisa**. 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-07/producao-de-lixo-no-pais-cresce-29-em-11-anos-mostra-pesquisa-da-abrelpe>>. Acesso em: 08 out. 2016.

MEHTA, P. K. **Concreto sustentável**: depoimento. [Outubro, 2008]. São Paulo: Revista Técnica. Edição 139. Entrevista concedida a Rafael Frank.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2014. 782 p..

MOURA, Girlene Suely Souza de. **Análise do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de Mossoró - RN**. 2011. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Departamento de Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

NAKAMURA, Juliana. **NBR 6118**: a busca da durabilidade. Técnica, São Paulo, Edição 86, Tecnologia. Capa. Maio 2004. Mensal.

NASCIMENTO, Domilene Saranna da Silva. **Análise bibliográfica sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos de alguns estádios da copa do mundo de 2014**. 2014. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2014.

PEREIRA, Mara Monaliza Linhares. **Influência da adição do pó de pedra em substituição parcial ao agregado natural na fabricação de concretos**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2016.

PEROVANO, Dalton Gean. **Manual de metodologia científica para segurança pública e defesa social**. Brasil: Jurua Editora, 2014. 230 p.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POMPEU NETO, B. B.; OLIVEIRA, D. R. C.; RAMOS, D. **Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência**. Revista Matéria, [s.i.], v. 16, n. 2, p.690-702, 14 set. 2011.

SANTANA, Valquiria Melo de et al. **Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 11, 2011, São José dos Campos. Anais... . São José dos Campos: EPG, [20--]. p. 1 - 6.

SANTOS, Leandro Bruno. **A indústria de cimento no Brasil**: origens, consolidação e internacionalização. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 23, n. 1, p.77-94, abr. 2011. Sociedade & Natureza. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132011000100007>.

SARAIVA, Flávio. **Bombas a vácuo e seus princípios de funcionamento**: Princípios de funcionamento da bomba a vácuo. 2011. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3772-bombas-a-vacu-e-seus-principios-de-funcionamento/>>. Acesso em: 27 out. 2016.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007, p.117-123.

SILVA, Gustavo Alexandre. **Diagnóstico do setor de agregados para construção civil na região metropolitana de Natal - RN**. 2012. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mineral, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SILVA, L. S. *et al.* **Concreto Sustentável**: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confeção de Concreto Simples. In: Internacional workshop advances in cleaner production, 5, 2015, São Paulo. Anais.... São Paulo. p. 1 - 12.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Water a shared responsibility**: The United Nations World Water Development Report 2. Paris: Berghahn Books, 2006. 601 p.

VENTURINI, Jamila. **Classificação de resíduos**: Veja como são classificados e como devem ser descartados os resíduos de obras. 2011. Equipe de Obra. Edição 37. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/37/artigo220705-1.aspx>>. Acesso em: 08 out. 2016.

VOTORANTIM. **Conheça os produtos agregados da Votorantim cimentos e suas aplicações**. BRASIL, 2012. 2 p. Folder elaborado pela Votorantim Cimentos.

ANEXOS

ANEXO A. Massa específica da água, em g/cm³, entre 0°C e 40°C

TABELA – Massa específica da água, em g/cm³, entre 0°C e 40°C

0°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
3	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
6	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
7	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
8	99	99	99	99	99	98	98	98	98	98
9	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97
10	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
11	96	96	96	96	96	96	96	96	95	95
12	95	95	95	95	95	95	95	94	94	94
13	94	94	94	94	94	94	93	93	93	93
14	93	93	92	92	92	92	92	92	92	91
15	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990
16	90	90	89	89	89	89	89	89	88	88
17	88	88	88	87	87	87	87	87	87	86
18	86	86	86	86	85	85	85	85	85	85
19	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
20	0,9982	0,9982	0,9982	0,9982	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9980
21	80	80	80	80	79	79	79	79	78	78
22	78	78	78	77	77	77	77	76	76	76
23	76	75	75	75	74	74	74	74	74	74
24	73	73	73	73	72	72	72	72	71	71
25	0,9971	0,9970	0,9970	0,9970	0,9970	0,9969	0,9969	0,9969	0,9969	0,9968
26	68	68	68	68	67	67	67	66	66	66
27	65	65	65	65	64	64	64	63	63	63
28	63	63	62	62	61	61	61	61	60	60
29	60	59	59	59	59	58	58	58	57	57

/continua

Fonte: ABNT (1984).

ANEXO A. Massa específica da água, em g/cm³, entre 0°C e 40°C (continuação).

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
30	0,9957	0,9956	0,9956	0,9956	0,9956	0,9955	0,9955	0,9955	0,9954	0,9954
31	54	53	53	53	52	52	52	51	51	51
32	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48
33	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
34	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41
35	0,9941	0,9940	0,9940	0,9940	0,9939	0,9939	0,9939	0,9938	0,9938	0,9937
36	37	37	36	36	36	35	35	35	34	34
37	34	33	33	32	32	32	31	31	31	30
38	30	30	29	29	28	28	28	27	27	27
39	26	26	25	25	25	24	24	24	23	23
40	22									

Fonte: ABNT (1984).

