UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
ENGENHARIA CIVIL

Jeniffer Natieli da Silva
Maria Eduarda Fernandes

ÁNALISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO PISO INTERTRAVADO

Sorocaba/SP
2023

Jeniffer Natieli da Silva
Maria Eduarda Fernandes

ÁNALISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO PISO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Prof. Me. Mario Sergio Killian

Sorocaba/SP
2023

Jeniffer Natieli da Silva
Maria Eduarda Fernandes

ÁNALISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, VISANDO SUA APLICAÇÃO COMO PISO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 05/06/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Mario Sergio Killian
Universidade de Sorocaba

Prof. Me. Paulo Sérgio Salmazo
Universidade de Sorocaba

Profa. Ma. Cibeli Nieri
Universidade de Sorocaba

Profa. Ma. Fernanda Otávia Dias Amadio Nascimento
Universidade de Sorocaba

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, Darlene, Jairo, Margarete e Benedito por não medirem esforços para que fosse possível chegarmos até aqui. Também a todos nossos os professores e mestres por toda a dedicação ao longo deste curso.

AGRADECIMENTOS

Iniciamos está jornada buscando conhecimento na área da engenharia civil afim de contribuir e agregar a comunidade uma qualidade de vida melhor, levando autonomia, segurança e inovação.

Primeiramente agradecemos a Deus e a todos os nossos professores e mestres que ao longo desta jornada do curso, nos ensinaram com maestria, incentivaram e nos apoiaram para que possamos exercer com sabedoria, responsabilidade e integridade nossa profissão, assim transmitir ao próximo todo o conhecimento adquirido.

Em especial, agradecemos ao Professor Mario Sergio Killian e a Professora Cibeli Nieri que estiveram presentes diretamente nos auxiliando em todas as etapas do trabalho para que pudesse ser realizado.

Aos nossos colegas de classe que nos acompanharam durante estes anos, pelas amizades, pelo companheirismo e pela troca de experiencia até o presente momento.

Aos nossos pais que nos apoiaram a não desistir dos nossos sonhos e por acreditar que somos capazes de chegar até aqui.

À Universidade de Sorocaba por oferecer todo apoio e local para elaboração dos ensaios necessários para realizar este presente trabalho.

A todos os envolvidos que indiretamente e diretamente contribuíram para conclusão deste curso.

Preservar a natureza é a chave para manter o equilíbrio ambiental.

(Rafael Nolêto)

RESUMO

Na construção civil utiliza-se uma diversidade de recursos naturais e com a demanda das construções aumentando no decorrer dos anos, logo pode-se chegar em uma situação de escassez destes materiais, desiquilibrando o ecossistema e desta forma causando grandes impactos a vida humana e animal. Este trabalho apresenta uma análise do reaproveitamento do RCC, resíduos de construção civil, incorporando-os gradativamente no concreto em forma de agregado graúdo para se obter e verificar sua aplicação como lajotas de concreto não estrutural. Para isso, foram realizados ensaios de granulometria da areia, brita e do resíduo utilizado com intuito de conhecer suas propriedades, empregando como base as normas NBR 7211: 2022 e a NM 248: 2001, além disso foi executado o ensaio de compressão conforme as especificações da norma NBR 5739: 2018, a fim de avaliar sua resistência mecânica e comparar com os resultados obtidos do mesmo ensaio utilizando o concreto convencional e assim verificar o comparativo de resistência entre os dois métodos. Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização da areia e brita foram satisfatórios atendendo os parâmetros exigidos pela norma, porém o RCC não atendeu o resultado mínimo determinado, os ensaios de resistência a compressão também não atingiram o resultado almejado, assim, não atendendo o objetivo principal do trabalho de resistência mínima de 35 MPa, inviabilizando o seu uso em pisos de lajotas intertravadas segundo a norma.

Palavras-chave: Concreto. Lajotas. Resíduos de construção civil.

ABSTRACT

In civil construction, a diversity of natural resources is used and, with the demand for constructions increasing over the years, a situation of scarcity of these materials can soon arrive, unbalancing the ecosystem and thus causing great impacts to human and animal life. This work presents an analysis of the reuse of RCC, civil construction waste, gradually incorporating them into the concrete in the form of coarse aggregate to obtain and verify its application as non-structural concrete slabs. For this, granulometry tests were carried out on sand, gravel and the residue used in order to know their properties, using NBR 7211: 2022 and NM 248: 2001 as a basis, in addition, a compression test was carried out according to the specifications of the NBR 5739: 2018 standard, in order to evaluate its mechanical resistance and compare it with the results obtained from the same test using conventional concrete and thus verify the resistance comparison between the two methods. The results obtained in the sand and gravel characterization tests were satisfactory, meeting the parameters required by the standard, but the RCC did not meet the minimum determined result, the compressive strength tests also did not reach the desired result, thus, not meeting the main objective of work with a minimum resistance of 35 MPa, making its use unfeasible on interlocking tile floors according to the standard.

Keywords: Concrete. Slabs. Construction waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura em concreto protendido 17
Figura 2 - Esquema de aterro sanitário. 20
Figura 3 - Aterro controlado. 21
Figura 4 - Tipos de resíduos da construção civil. 22
Figura 5 - Pesagem da areia úmida. 27
Figura 6 - Amostras para secagem em estufa. 27
Figura 7 - Areia seca completamente. 28
Figura 8 - Massa seca da amostra a. 29
Figura 9 - Massa seca da amostra b. 29
Figura 10 - Peneiras em ordem crescentes. 30
Figura 11 - Amostras retidas de agregado miúdo. 31
Figura 12 - Quarteamento da brita. 32
Figura 13 - Peneiramento da brita 0. 33
Figura 14 - Amostras da brita 0. 33
Figura 15 - Aterro de Inertes de Sorocaba 34
Figura 16 - Resíduos de construção civil do aterro de inertes. 34
Figura 17 - Peneiramento realizado manualmente. 35
Figura 18 - Resíduos separados. 35
Figura 19 - Peneiramento do resíduo de construção civil. 36
Figura 20 - Curva de *Abrams* para determinação da relação a/c. 37
Figura 21 - Concreto convencional. 39
Figura 22 - Pesagem do cimento – Concreto 50% RCC. 39
Figura 23 - Pesagem da areia – Concreto 50% RCC. 40
Figura 24 - Pesagem da brita 0 – Concreto 50% RCC. 40
Figura 25 - Pesagem do resíduo de construção civil – Concreto 50% RCC. 41
Figura 26 - Pesagem do cimento – Concreto 70% RCC. 42
Figura 27 - Pesagem da areia - Concreto 70% RCC. 42
Figura 28 - Pesagem da brita - Concreto 70% RCC. 43
Figura 29 - Pesagem do resíduo de construção civil - Concreto 70% RCC. 43
Figura 30 - Preparação para o *slump test*. 44
Figura 31 - Retirada do cone e posicionamento para medição do abatimento. 45
Figura 32 - Medição do abatimento – Concreto convencional. 45
Figura 33 - Abatimento de 7,30cm – Concreto convencional. 46
Figura 34 - Medição do abatimento – Concreto 50% RCC. 47
Figura 35 - Abatimento 5,20 cm - Concreto 50% RCC. 47
Figura 36 - Medição do abatimento - Concreto 70% RCC. 48
Figura 37 - Abatimento 3,4 cm - Concreto 70% RCC. 48
Figura 38 - Corpos de prova - Concreto convencional. 49
Figura 39 - Corpos de prova desmoldados - Concreto convencional. 50
Figura 40 - Corpos de prova - Concreto 50% RCC. 51
Figura 41 - Corpos de prova - Concreto 70% RCC. 51
Figura 42 - Corpos de prova desmoldados - Concreto 50% RCC. 52
Figura 43 - Corpos de provas desmoldados - Concreto 70% RCC. 52
Figura 44 - C.P 01 - Concreto convencional. 53
Figura 45 - C.P 02 - Concreto convencional. 54
Figura 46 - C.P 03 - Concreto 50% RCC. 54
Figura 47 - C.P 04 - Concreto 50% RCC. 55

Figura 48 - C.P 05 - Concreto 70% RCC. 55
Figura 49 - C.P 06 - Concreto 70% RCC. 56
Figura 50 – C.P 07 - Concreto convencional.....57
Figura 51 - C.P 08 - Concreto convencional.....58
Figura 52 - C.P 09 - Concreto 50% RCC. 58
Figura 53 - C.P 10 - Concreto 50% RCC. 59
Figura 54 - C.P 11 - Concreto 70% RCC. 59
Figura 55 - C.P 12 - Concreto 70% RCC. 60
Figura 56 - Classificação comercial do agregado graúdo para concreto.....63
Figura 57 - Tipo de ruptura de corpos de prova. 67
Figura 58 - Ruptura concreto convencional 14 dias. 68
Figura 59 - Ruptura concreto convencional 28 dias. 68
Figura 60 - Ruptura concreto 50% RCC 14 dias. 69
Figura 61 - Ruptura concreto 50% RCC 28 dias. 69
Figura 62 - Ruptura concreto 70% RCC 14 dias. 70
Figura 63 - Ruptura concreto 70% RCC 28 dias. 71
Figura 64 - Lajota com concreto convencional.....72
Figura 65 - Lajota com concreto 50 % RCC.....72
Figura 66 - Lajota com concreto 70 % RCC.....73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência característica à compressão 24
Tabela 2 - Classe de agressividade ambiental (CAA) 25
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto 25
Tabela 4 - *Masa minima, por muestra de ensayo*/ Massa mínima, por amostra de ensaio 26
Tabela 5 - Serie de tamices / Série de peneiras 30
Tabela 6 - Traços de concreto 38
Tabela 7 - Classificação da areia quanto ao módulo de finura 61
Tabela 8 - Resultados da granulometria da areia 62
Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia 62
Tabela 9 - Resultados da granulometria da brita 62
Tabela 10 - Resultados da granulometria do RCC. 64
Tabela 11 - Classificação das consistências do concreto 65
Tabela 12 - Abatimento por *Slump Test* 65
Tabela 13 - Resultados gerais do ensaio de compressão 66
Tabela 14 - Resultados do ensaio de compressão. 67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento *Portland*
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Kg	Quilograma
LAPEC	Laboratório de Práticas em Construção Civil
mm	Milímetro
MPa	*Megapascal*
NM	Norma Mercosul
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Polivinila
RCC	Resíduo de Construção Civil
UNISO	Universidade de Sorocaba
PGRS	Plano de Geração de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVOS 15

2.1 Objetivo geral 15
2.2 Objetivos específicos: 15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 Concreto 16
3.1.1 Cimento *Portland* 17
3.2 Resíduos sólidos 18
3.3 Resíduos sólidos produzidos na construção civil 21
3.4 Concreto sustentável 23
4 METODOLOGIA 24

4.1 Preparação do ensaio granulométrico 26
4.1.1 Agregado Miúdo 26
4.1.2 Agregado Graúdo 31
4.1.3 RCC 34
4.2 Escolha dos traços 36
4.3 Preparação do concreto 38
4.4 *Slump test* 44
4.5 Confecção dos corpos de prova 49
4.6 Ensaio de compressão 52
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS 61

5.1 Ensaio de peneiramento 61
5.2 Ensaio *slump test* 64
5.3 Ensaio de compressão 65
5.4 Protótipo 71
6 CONCLUSÃO 74

REFERÊNCIAS 75

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a população vem crescendo de forma expressiva, necessitando cada vez mais da extração de recursos naturais para que as demandas de construções de moradias, escolas, hospitais, praças, estradas, entre outras, pudessem ser executadas com qualidade, segurança, maior velocidade e economia. Segundo John (2000), o setor da construção civil tem uma taxa de consumo dos recursos naturais extraídos no planeta entre 14% e 50%.

Os recursos naturais são classificados em renováveis e não renováveis, e para o benefício da população vem sendo explorados de maneira desordenada, podendo gerar poluição com consequências ambientais graves ao nosso planeta (DE MATOS, 2020). Quando se pensa globalmente e se age de forma localmente, o impacto causado é positivo para população e para o meio ambiente de maneira geral, portanto, é necessário o cuidado sempre que o assunto for recursos naturais.

Na medida que em essas demandas são atendidas, aumenta a necessidade do consumo dos insumos, como areia, cimento, brita entre outros, por outro lado, com esse crescimento acelerado das construções, temos um volume de descarte de RCC (Resíduo de Construção Civil) oriundos das obras consideravelmente relevante, o qual devemos destinar corretamente para que não haja impactos ambientais, dito isto, é possível aplicarmos uma logística reversa, o que consiste em utilizar esse resíduo que seria possivelmente descartado de maneira inadequada, para voltar no ciclo produtivo através do seu reprocessamento, tornando possível reutilizar no concreto, isso traria ganhos positivos no quesito ambiental, pois diminuiria o consumo de matéria prima utilizada na construção civil, consequentemente a extração excessiva desses recursos naturais, além de que reduziria a quantidade de entulhos sendo descartados em lugares inapropriados que ao longo do tempo irá gerar riscos a própria sociedade, através de desastres naturais ou econômicos.

No Brasil, nem todas as cidades possuem aterro sanitário e aterro de inertes para que esses resíduos recebam manejo correto. De acordo com Fernandez (2012), com base em pesquisa de 2008 e amostragem de 372 municípios, a quantidade coletada de RCC de origem pública é 7.192.372,71 t/ano e de origem privada é de 7.365.566,51 t/ano. A resolução CONAMA 307 de 05/07/2002 e está em vigor desde o dia 02 de janeiro 2003, posteriormente complementada pela resolução CONAMA 348 de 16/08/2004, nos estabelece as diretrizes, os critérios e os procedimentos a

serem cumpridos a fim de que haja a gestão de resíduos de construção civil, sendo eles resultantes de demolições, reformas, novas construções, onde é descartado materiais como: tijolos ou blocos cerâmicos, solos e rochas, metais, tintas, madeiras e compensados, tubos de PVC (Policloreto de Polivinila), argamassa, gesso, entre muitos outros materiais que chamamos comumente de entulho, devendo ser separados conforme as classificações.

Em função do problema apontado, neste trabalho, aborda-se a questão da reutilização destes resíduos derivados dos descartes da construção civil (RCC), incorporando-os no concreto como agregado graúdo para verificação do seu comportamento ao ser sujeito ao ensaio de resistência mecânica, em conformidade com os procedimentos descritos nas normas brasileira e assim busca-se a validação da possibilidade de se utilizar esse concreto para aplicação em pisos intertravados.

O presente trabalho se inicia com o estudo da metodologia a ser aplicada, bem como a definição do traço base, para o comparativo da resistência do concreto em relação ao convencional e o com RCC, em seguida, realiza-se a produção do concreto e a confecção dos corpos de prova. É fundamental seguir as normas técnicas protegidas pela ABNT em todas as etapas do trabalho para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso, é estudar a resistência a compressão do concreto com RCC e realizar a comparação dos resultados obtidos com o concreto convencional, buscando analisar a viabilidade e a sua aplicação como piso intertravado e assim consequentemente cooperar com a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte incorreto destes materiais.

2.2 Objetivos específicos:

- Realizar ensaios de granulometria dos materiais, *slump test* e de resistência a compressão, a fim de comparar os resultados com o concreto convencional;
- Produzir corpos de prova com o concreto, modificando os traços com o RCC graúdo e desta forma analisar os melhores resultados;
- Analisar sua aplicação como lajota intertravada, durante o estudo;
- Verificar o comparativo de resistência a compressão entre o concreto comum e o concreto sustentável.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Concreto

O concreto é um tipo de material constituído por basicamente 3 componentes, sendo eles, cimento, água e agregados (miúdos e graúdos), contudo para alcançar melhores resultados em relação as suas propriedades básicas, a utilização de aditivos em sua composição vem sendo empregada. Segundo COUTO *et al.* (2013, p. 51) “Ele é o material estrutural de maior uso na atualidade”. De fato, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos.

Sobre a preparação, “Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar: as propriedades de cada um dos materiais compostos e suas propriedades assim como os fatores que podem alterá-las”. (COUTO *et al.* 2013, p. 51).

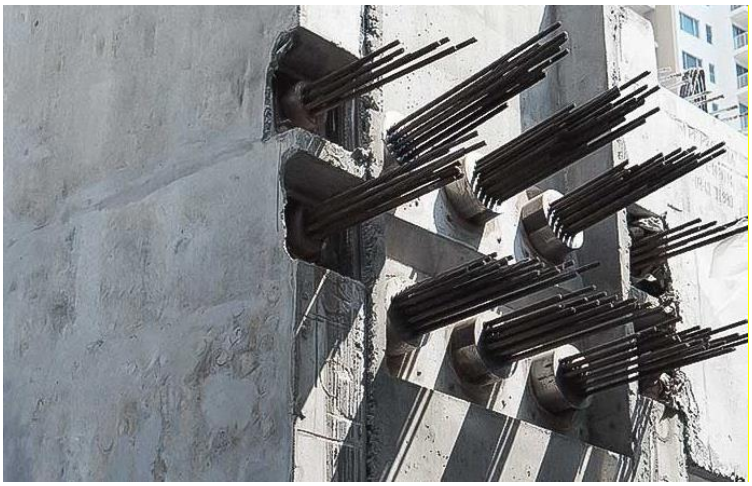
No mercado existem diversos tipos de compostos a base de concreto, conforme os anos vão passando, novos estudos vão surgindo e novos compostos vem sendo produzidos, dentre os principais temos:

O concreto convencional ou também conhecido como concreto simples, segundo o PORTAL DO CONCRETO (2022) “Podemos dizer que o concreto convencional é aquele sem qualquer característica especial e que é utilizado no dia a dia da construção civil”, pois não possui nenhum tipo de aditivo em sua composição, composto apenas por cimento, areia, brita e água.

O concreto armado, onde em sua composição é incluso ligas de aço com o objetivo de alcançar elevada resistência a tração, somando-se ao concreto é capaz de atingir boa resistência aos esforços de tração e compressão.

“O concreto protendido surgiu como uma evolução do concreto armado, com a ideia básica de aplicar tensões prévias de compressão na região da seção transversal que será tracionada posteriormente pela ação do carregamento externo aplicado na peça.” (BASTOS, 2006, p. 3). Na Figura 1 é possível observar um exemplo de estrutura de concreto protendido.

Figura 1 - Estrutura em concreto protendido



Fonte: Metalenge Concretos**. Saiba tudo sobre concreto armado e concreto protendido.** Disponível em: https://metalengeconcretos.com.br/blog/. Acesso em: 29 abr. 2022.

Conforme a tecnologia avança, uma nova geração de concretos vem sendo desenvolvida, através da remodelação de métodos tradicionais de execução e cálculo de concreto, de teorias e composições do concreto, que dia após dia tem sido enriquecida com novas descobertas, podendo gerar ganhos financeiros e certamente evolução da industrialização no mundo.

3.1.1 Cimento *Portland*

Segundo o autor Arnaldo Forti Battagin do *site* ABCP (Associação Brasileira de Cimento *Portland*):

> No Brasil, estudos para aplicar os conhecimentos relativos à fabricação do cimento Portland ocorreram aparentemente em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica na fazenda Santo Antônio, de sua propriedade, situada em Sorocaba-SP. (ABCP, 2023)

Com o passar dos anos tiveram várias outras tentativas de produção, porém somente em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento *Portland* de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo começaram a produzir as primeiras toneladas de cimento, alavancando o surgimento de outras indústrias no Brasil. (ABCP, 2023).

Assim houve a necessidade da normatização deste material que passou a ser muito produzido e utilizado, surgindo então a ABNT NBR 16697: 2018 – Cimento *Portland* – Requisitos.

O Cimento *Portland* “[...] é obtido a partir do clínquer extraído de rocha calcária ou argila e de adições de outros materiais, como sulfato de calcário e/ou escória siderúrgica.” (GOTO; CAIXETA; CENTOFANTE, 2018, p. 86.)

Podendo ser classificado conforme a NBR 16697: 2018 da seguinte forma:

- CP I – Cimento *Portland* Comum
- CP I-S – Cimento *Portland* Comum com Adição
- CP II-E – Cimento *Portland* Composto com Escória
- CP II-Z – Cimento *Portland* Composto com Pozolana
- CP II-F – Cimento *Portland* Composto com Fíler
- Cimento *Portland* de Alto-Forno (CP III)
- Cimento *Portland* Pozolânico (CP IV)
- Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
- Cimento *Portland* Resistente a Sulfatos (RS)
- Cimento *Portland* de Baixo Calor de Hidratação (BC)
- Cimento *Portland* Branco (CPB)

Para garantir a qualidade do cimento *Portland*, existem normas técnicas brasileiras que estabelecem requisitos mínimos para sua produção e utilização, como a ABNT NBR 5732 - Cimento *Portland* comum e ABNT NBR 5735 - Cimento *Portland* de alta resistência inicial. É de suma importância seguir essas normas para garantir a segurança e a qualidade das construções.

3.2 Resíduos sólidos

Segundo Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, inciso XVI resíduos são:

> [...]material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos

> d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010, p. 01).]

Os resíduos sólidos são gerados a todo momento por indústrias, construção civil, serviços domésticos, hospitalares, agrícolas e comerciais no qual seu destino final deve ser de maneira correta, desta forma evitando danos à saúde e problemas ambientais há população que habita e é exposta a estes resquícios frequentemente.

Os resíduos podem ser classificados de acordo a ABNT NBR 10004: 2004 como perigosos, não perigosos, não inertes e inertes. Os resíduos pertencentes a classe I são aqueles classificados como perigosos onde são subdivididos em inflamáveis (código de identificação D001), corrosivos (código de identificação D002), reativos (código de identificação D003), tóxicos e patógenos (código de identificação D004), como: pilhas, objetos hospitalares infectados, óleos, tintas, produtos químicos entre outros. A classe II A são os resíduos considerados não perigosos e não inertes que são aqueles que possuem biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São considerados como classe II B- inertes, aqueles resíduos que quando entram em contato com a água não sofrem modificações físicas, químicas ou biológicas e permanecem em sua forma original por um tempo duradouro, como latas de alumínio, pedra e areia, sucatas, entulhos de demolição entre outros.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010, p. 01) “[...] destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes [...]”. Desta forma os materiais descartados que não sejam reciclados, são destinados a aterros sanitários e controlados, no entanto ainda há o descarte de resíduos em lixões a céu aberto próximo a sociedade.

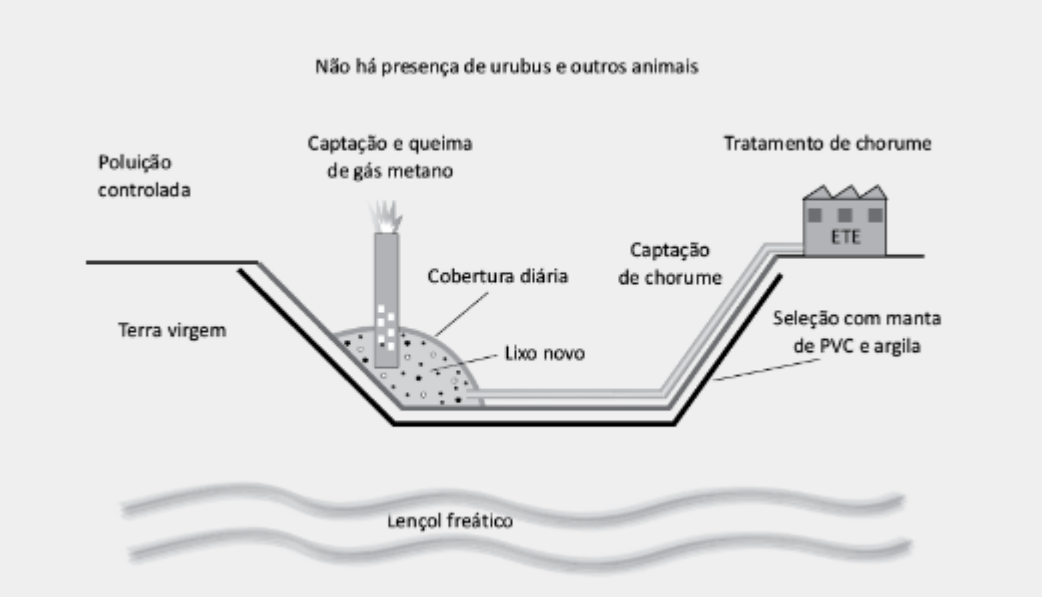
Os lixões a céu aberto não são adequados para este fim, uma vez que podem ser descartados resíduos altamente tóxicos ao ser humano. Quando destinados incorretamente estes materiais podem trazer mal odores, exalação de gases poluentes e a presença de animas, transmitindo doenças como leptospirose, dengue, febre amarela entre outras enfermidades, podendo ser fatal aqueles que residem em suas proximidades.

Os aterros sanitários são locais próprios e preparados para este tipo de descarte, tendo como objetivo minimizar impactos ambientais e a saúde. “Esses aterros se baseiam na técnica de se enterrar os resíduos, buscando sua

decomposição e redução de volume a longo prazo na natureza” (TELLES, 2022, p. 15).

A Figura 2 a seguir mostra o esquema de como é a estrutura de um aterro sanitário, onde primeiramente é disposto uma camada de PVC e argila, para evitar que resíduos como chorume se infiltrem no solo e contaminem o lençol freático, também é demonstrado a estação de tratamento de esgoto (ETE) e todo o percurso até a captação e queima de gás metano, que é proveniente da fermentação e decomposição da matéria orgânica depositada no local.

Figura 2 - Esquema de aterro sanitário.

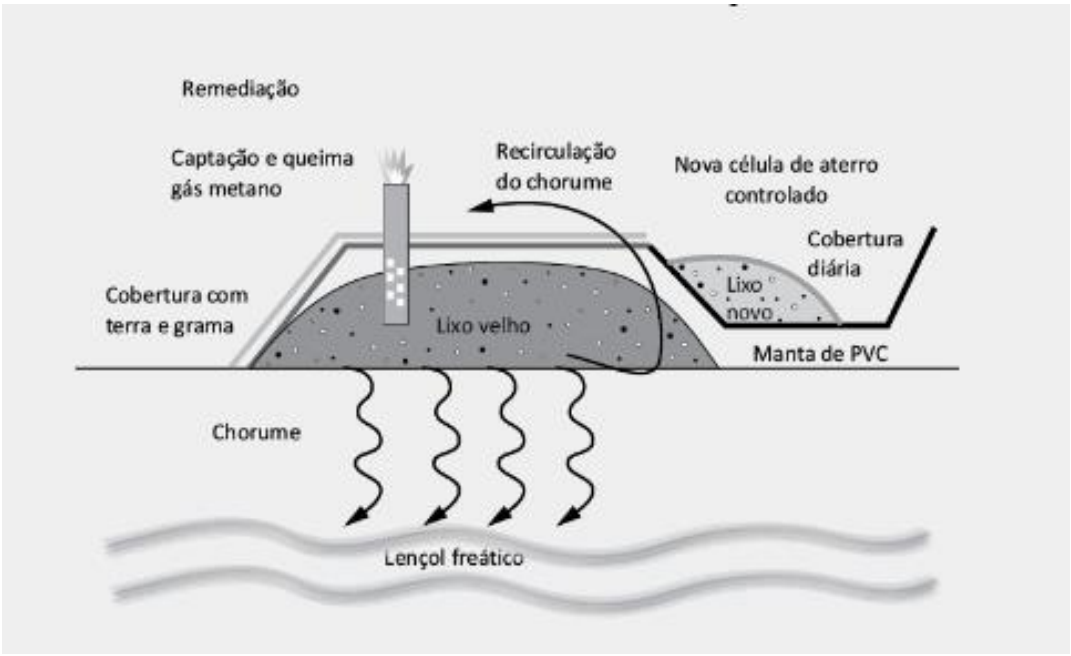


Fonte: TELLES, (2022, p. 15).

Os aterros controlados apresentam a mesma finalidade que o aterro sanitário, sendo um local destinado a receber resíduos sólidos descartados pela população visando diminuir impactos ao meio ambiente, exposição ao lixo e a doenças. Neste caso, o material é coberto com uma camada de argila e grama.

A Figura 3 a seguir exemplifica a estrutura do funcionamento de um aterro controlado, no qual é colocado uma manta de PVC igualmente ao aterro sanitário, a fim de evitar que o chorume tenha contato diretamente com o solo, também é demonstrado a camada de terra e grama utilizada para cobrir o lixo e a recirculação do chorume, assim diminuindo absorção do resíduo no solo.

Figura 3 - Aterro controlado.



Fonte: TELLES, (2022, p. 15).

Por esta razão deve-se ter um gerenciamento de resíduos sólidos, para reduzir e evitar proliferação de doenças e contaminação no solo e consequentemente da água, visto que é obrigatório por todas as empresas descritas por lei que gerem em seu cotidiano qualquer resíduo, realizar o plano de geração de resíduos sólidos (PGRS), segundo o inciso X e art. 14 da lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, página 01.

Logo, realizando corretamente o gerenciamento de resíduos sólidos e controlando quanto, como e onde será realizado os descartes, contribuirá para a preservação da saúde humana e do ecossistema.

3.3 Resíduos sólidos produzidos na construção civil

A construção civil vem se expandindo de forma eficiente e rápida, buscando sempre melhorias e inovação nos métodos construtivos com profissionais qualificados e preparados para entregar bem-estar e segurança ao próximo. No entanto sendo uma das grandes geradoras de resíduos sólidos.

> A gestão dos resíduos da construção civil teve suas diretrizes, critérios e procedimentos principais estabelecidos pela Resolução Conama nº 307 (Conama, 2002). Essa resolução define resíduos da construção civil como 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, argamassas, gessos, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. Estão também incluídos como resíduos da construção os resultantes da preparação e da escavação de terreno, solos, concretos em geral, rochas, pavimento asfálticos, tubulações e todos os entulhos de obra. (NAGALLI, 2014, p. 11).

Os resíduos provenientes de construção, demolição ou reforma podem ser classificados como classe A, B, C e D, segundo o art. 3 página 01 da resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002.

A classe A refere-se aos materiais cerâmicos, areias, solos de terraplanagem, placas de revestimento entre outros, onde eles podem ser reutilizados para outros fins. A classe B são os materiais que podem ser reciclados e reutilizáveis, como por exemplo papelão, papel, plástico e madeiras. A classe C são os materiais que ainda não possuem técnicas para se realizar a reciclagem, desta forma deve se ter atenção para evitar o desperdício do mesmo. A classe D são considerados perigosos, pois apresentam composição química os tornando tóxicos a animas, ao ser humano e ao meio ambiente.

A Figura 4 abaixo, mostra alguns exemplos de materiais que são classificados por cada classe descrita acima.

Figura 4 - Tipos de resíduos da construção civil.

Fonte: PEREIRA, Caio. **TIPOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em: <escolaengenharia.com.br/tipos-de-residuos/>. Acesso em: 18 mar. 2023.

Desta forma, deve se ter cautela ao descartar um material para evitar problemas futuros ao meio ambiente e para reduzir os custos nas obras.

3.4 Concreto sustentável

A construção civil está presente na rotina de todos diretamente ou indiretamente, onde vem crescendo em larga escala e assim oferecendo projetos de infraestrutura, conhecimento e inovação, buscando sempre a melhor solução para os problemas estruturais ocasionados pelas intempéries e pelo próprio homem e desta forma proporcionar segurança e qualidade de vida ao próximo.

Todas as construções para serem executadas são necessárias uma diversidade de materiais para se atingir os objetivos estabelecidos e deste modo suprir a finalidade e a necessidade do local, sendo eles para suportar grandes esforços de compressão ou tração, altas temperaturas, resistência a água ou produtos químicos, entre outros. Sendo, o concreto o principal material da construção civil, composto por cimento, brita, areia, água e alguns casos aditivos para adquirir sua melhoria, porém é um dos responsáveis por causar grandes impactos ambientais, devido a produção do cimento e pelo descarte incorreto dos resíduos de construção civil em locais inapropriados.

Com a alta demanda de construções atualmente e com crescimento populacional desordenado, logo não haverá matéria prima suficiente para se produzir o concreto. Segundo Brooks e Neville (2013, p. 398):

> [...] as fontes de rochas que podem ser britadas provavelmente irão diminuir, e em alguns países são instituídas taxações sobre todas as novas pedreiras. [...] é que existe uma diminuição das áreas para descarte de materiais de demolição, incluindo concreto velho e, novamente, existem taxas incidentes sobre os aterros.

Diante destes motivos nos dias de hoje vem se fazendo o uso do concreto sustentável, substituindo os agregados graúdos e miúdos que compõem o concreto convencional por resíduos sólidos urbanos e resíduos de construção e demolição, a fim de se obter um destino adequado a estes materiais e preservar o meio ambiente.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto e obter os resultados esperados no ensaio de compressão de no mínimo 35 MPa em 28 dias para piso intertravado, com a finalidade de tráfego de pedestre como especificado na NBR 9781: 2013 - Peças de concreto para pavimentação- especificações e métodos de ensaio página 6 da norma, demostrado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781: 2013, p. 6.

Inicialmente adotou-se os tipos de materiais a serem utilizados para a fabricação do concreto convencional e o com resíduos de construção civil (RCC).

Para o agregado miúdo, determinou-se utilizar areia do tipo grossa em saco de 15kg, embalado pela empresa Caetano de Tatuí Materiais e Construção ltda. Como agregado graúdo utilizou-se brita 0, popularmente conhecido como pedrisco e o resíduo de construção civil (RCC), foi recolhido do Aterro de Inertes do município de Sorocaba- SP, no qual o resíduo foi submetido a um processo de trituração e sendo constituído por fragmentos de telhas, concreto, gesso entre outros materiais provenientes de demolições e/ou reformas de construções e o cimento escolhido a ser empregado foi do tipo CPII 32MPa da marca Votoran.

Após a escolha do cimento, verificou-se a NBR 6118: 2014 – Projeto de estruturas de concreto- procedimento, com intuito de classificar a agressividade ambiental e a relação máxima de água/cimento em massa. Como o objetivo principal do trabalho é a reutilização destes resíduos em piso intertravado para passeio de pessoas, considerou-se segundo a Tabela 2 representada abaixo e retirada da norma mencionada, como ambiente urbano, portanto classificado como classe de agressividade moderada II e para relação água/cimento Tabela 3 abaixo, para

agressividade II do concreto a relação água/cimento não deverá ultrapassar 0,55 ao definir os traços a serem executados.

Tabela 2 - Classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana [a, b]	Pequeno
III	Forte	Marinha [a]	Grande
		Industrial [a, b]	
IV	Muito forte	Industrial [a, c]	Elevado
		Respingos de maré	

[a] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[b] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

[c] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118: 2014, p.17.

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto [a]	Tipo [b, c]	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

[a] O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

[b] CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

[c] CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118: 2014, p. 18

Posteriormente a escolha dos materiais, realizou-se todos os ensaios laboratoriais necessários seguindo as determinações das normas vigentes, as quais se encontram descritas no corpo do presente trabalho, assim para todo o processo de fabricação dos corpos de provas, a fim de analisar sua resistência e a execução das lajotas individuais de concreto com RCC, desta forma analisando suas características e propriedades físicas.

4.1 Preparação do ensaio granulométrico

No Brasil, a norma que regulamenta o ensaio de granulometria de agregado miúdo é a ABNT NBR NM 248. Para a realização desse ensaio, são necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Balança eletrônica com precisão de 0,1 g;
- Peneiras com abertura definida e certificada pela ABNT;
- Agitador mecânico de peneiras;
- Recipientes para pesagem das amostras.

4.1.1 Agregado Miúdo

Primeiramente, realizou-se o ensaio granulométrico da areia para garantir a exatidão da granulometria dos grãos e sua caracterização. Iniciou-se o ensaio definindo a massa mínima de amostra a ser utilizada para grãos de dimensão máxima de 9,5mm, empregando a Tabela 4, na qual consta a massa mínima por amostra de ensaio.

Tabela 4 - *Masa minima, por muestra de ensayo*/ Massa mínima, por amostra de ensaio.

Dimensión máxima nominal del agregado / *Dimensão máxima nominal do agregado* mm	Masa mínima de la muestra de ensayo / *Massa mínima da amostra de ensaio* kg
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300
(*) Después del secado. / *Após secagem.*	

Fonte: NM 248: 2001, p.3.

Definiu-se utilizar uma amostra de 1kg de areia grossa seguindo as especificações da Tabela 4, logo em seguida separou-se o material em duas amostras “a” e “b”, assim pesou-se as mesmas em balança eletrônica garantindo igualmente a

massa das duas amostras, como demonstrado abaixo na Figura 5, em seu estado úmido.

Figura 5 - Pesagem da areia úmida.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Logo após, inseriu-se as duas amostras “a” e ‘b”, em uma estufa para sua secagem total em temperatura de 200ºC por 60 minutos, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Amostras para secagem em estufa.

Fonte: Elaboração própria (2023).

As amostras foram supervisionadas de 20 em 20 minutos e com o auxílio de uma espátula de madeira mexeu-se até a secagem completa de todo o material conforme Figura 7.

Figura 7 - Areia seca completamente.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Em seguida, após as amostras estarem em temperatura ambiente como especifica a norma pesou-se novamente e anotou-se em planilha as massas secas, para posteriormente ser realizado o gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo e realizar sua análise.

A Figura 8 e Figura 9 a seguir, mostram as massas secas das amostras “a” e “b” respectivamente:

Figura 8 - Massa seca da amostra a.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 9 - Massa seca da amostra b.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Após a secagem e anotação dos valores encontrados, realizou-se o ensaio de peneiramento.

Para o ensaio de granulometria por peneiramento, primeiramente as peneiras foram limpas com auxílio de um pincel para a retirada de resquícios de ensaios passados e em seguida colocou-se no agitador de peneiras em ordem crescente da base para o topo, primeiramente posicionando o fundo e na sequência as peneiras de malha 0,15 mm, 0,3 mm, 0,6 mm, 1,18 mm, 2,36 mm, 4,75 mm, 6,3 mm e 9,5 mm

conforme definido na norma Tabela 5, a disposição das peneiras pode ser observada na Figura 10.

Tabela 5 - Serie de tamices / Série de peneiras

Serie Normal / *Série Normal*	Serie Intermedia / *Série Intermediária*
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NM 248: 2001, p.2**.**

Figura 10 - Peneiras em ordem crescentes.

Fonte: Elaboração própria (2023).

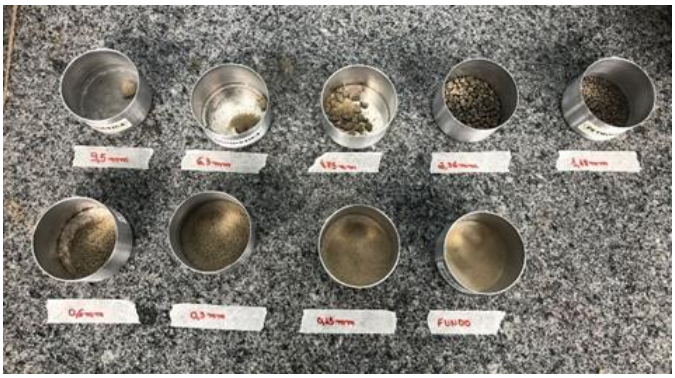
Logo, inseriu-se todo o material da amostra “a” no topo das peneiras e em seguida tampado e rosqueado a trava de segurança do aparelho. Após ligou-se o equipamento agitador de peneiras e agitou-se todo material em um controle de

vibração de 7 por 10 minutos, a fim de separar e classificar de maneira eficiente toda a areia.

Em seguida, após a agitação das peneiras retirou-se uma por vez e pesado toda a massa retida por peneira e anotado em planilha os valores obtidos. E desta forma, realizou-se o mesmo processo para amostra b.

Para análise visual entre a diferença das granulometrias das areias retidas em cada peneira, colocou-se pequenas amostras em recipientes para identificação das mesmas, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Amostras retidas de agregado miúdo.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Seguidamente, após preencher as massas retidas das duas amostras, foi calculado a porcentagem das amostras retidas e assim também as variações, média e acumulada. E por fim, o modulo de finura da areia, na qual foi encontrada através da soma das porcentagens retidas acumuladas, dividida por 100 como especificado na NBR 7211: 2022 – Agregados para concreto – Requisitos.

A planilha de resultados da areia e o gráfico granulométrico se encontra disponível na Tabela 8 e Gráfico 1 respectivamente.

4.1.2 Agregado Graúdo

Em seguida, realizou-se o ensaio de peneiramento da brita 0, com o mesmo objetivo da areia, a fim de analisar sua granulometria e sua caracterização.

Iniciou-se, realizando o quarteamento da amostra da brita como especifica a NBR 16915: 2021 – Agregados amostragem, colocamos todo o material em um papelão limpo e rígido como demonstrado na Figura 12 e com auxílio de uma pá, foi

feita a divisão em 4 partes visualmente iguais e eliminados 2, conforme determina a norma. Em seguida, repetiu-se o processo com as duas amostras que restaram até atingir-se uma quantia que visualmente coubesse no equipamento para realizar o peneiramento.

Figura 12 - Quarteamento da brita.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Logo em seguida, pesou-se uma parte do quarteamento e dividido em duas amostras iguais, como ensaio número 1 e ensaio número 2.

Posicionou-se as peneiras devidamente limpas e em ordem crescente, primeiramente colocando o fundo no agitador e na sequência as peneiras de malha 2,36 mm, 4,75 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19,0 mm, 25,0 mm e 37,5 mm, conforme definido na norma Tabela 5, a disposição das peneiras pode ser observada na Figura 13, colocou-se a amostra 1 na peneira de maior diâmetro pesando 1kg do material e assim iniciou-se o ensaio.

O aparelho foi ligado em uma vibração de 7 durante 10 minutos, conforme já realizado para a areia, de forma que o peneiramento fosse eficiente, como demostrado na Figura 13

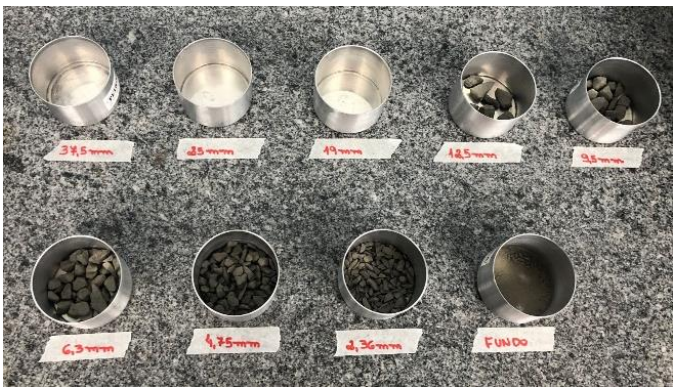
Figura 13 - Peneiramento da brita 0.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Após o término do peneiramento, pesou-se cada amostra que estava retida em cada peneira e inseriu-se os resultados em planilha, a fim de obter-se as porcentagens das variações retidas, media das massas retidas e a massa retida acumulada e consequentemente o modulo de finura na brita 0 Tabela 9.

Para visualizar a diferença entre as granulometrias retidas, foi colocado um pouco de cada amostra retida em pequenos recipientes, como demostrado na Figura 14.

Figura 14 - Amostras da brita 0.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Por fim, realizou-se todo o processo de peneiramento para o ensaio número 2, onde valores obtidos estarão na Tabela 9.

4.1.3 RCC

Posteriormente, verificou-se os resíduos de construção civil (RCC) recolhidos no aterro de inertes de Sorocaba Figura 15, na Figura 16 é possível observar o resíduo utilizado.

Figura 15 - Aterro de Inertes de Sorocaba

Fonte: Foto disponibilizada pelo Mario Sérgio Killian.

Figura 16 - Resíduos de construção civil do aterro de inertes.

fonte: Elaboração própria (2023).

Verificou-se que todo material recolhido, era composto por uma diversidade de materiais como telhas cerâmicas, concreto, gesso, terra, materiais orgânicos, como folhas e gravetos, além de possuir uma desigualdade em sua granulometria.

Para fazer o uso no concreto, realizou-se uma separação manualmente com o auxílio de uma peneira de 12,5 mm, a fim de se conseguir igualar com a granulometria do agregado graúdo, no caso igualando com a da brita 0 (pedrisco), agregado considerado para realizar a substituição dos percentuais de RCC.

Em seguida, realizou-se outro peneiramento com auxílio de uma peneira de pedreiro como demonstrado na Figura 17, a fim de complementar o primeiro peneiramento e separar os resíduos da terra que estava presente no material recolhido, assim apenas restando o material a ser empregado no concreto como apresentado na Figura 18.

Figura 17 - Peneiramento realizado manualmente.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 18 - Resíduos separados.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Em seguida, separou-se duas amostras de 1kg cada do material, onde foram identificadas como ensaio 1 e ensaio 2, para realização do ensaio de peneiramento.

Primeiramente, limpou-se todas as peneiras que seriam utilizadas e as posicionou-se em ordem crescente, primeiramente colocando o fundo no agitador e na sequência as peneiras de malha 2,36 mm, 4,75 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19,0 mm, 25,0 mm e 37,5 mm, conforme definido na norma Tabela 5, a disposição das peneiras pode ser observada na Figura 19.

Colocada a primeira amostra e realizado o peneiramento por 10 minutos, na vibração 7 como na Figura 19, igualmente realizado para areia e para a brita 0.

Figura 19 - Peneiramento do resíduo de construção civil.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Após o término do peneiramento, pesou-se cada amostra que ficou retida em cada peneira, e anotado os valores encontrados, conforme consta na Tabela 9. Logo, todo o processo foi realizado novamente para a outra amostra.

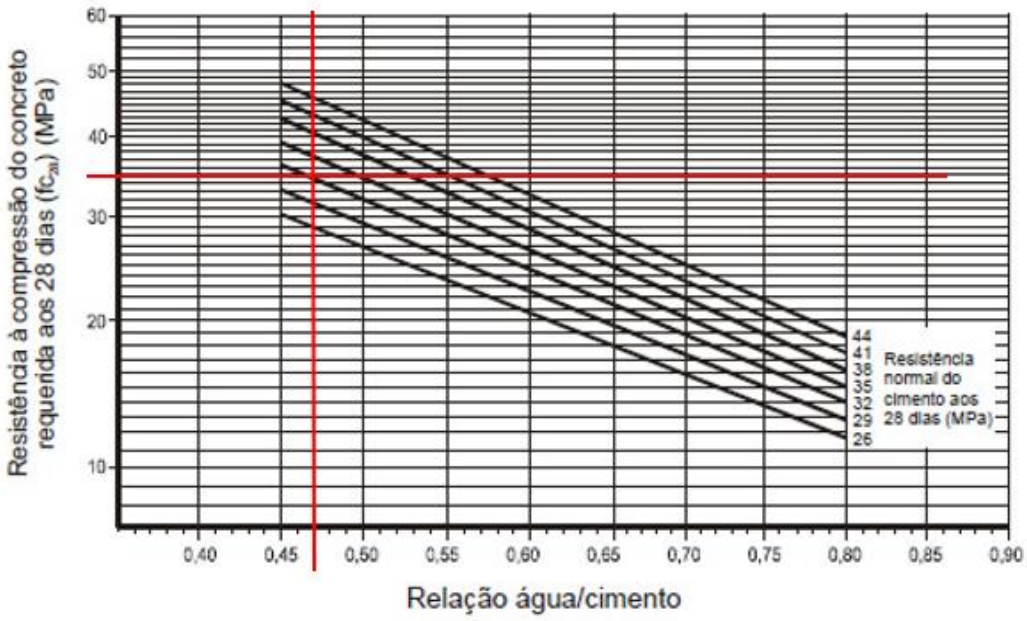
4.2 Escolha dos traços

A escolha do traço para o concreto convencional, realizou-se com base em outros trabalhos e estudos desenvolvidos em aula até o presente momento, escolhendo-se o traço 1:2:2,5 utilizado em um trabalho desenvolvido em aula, assim determinou-se um traço base para o concreto convencional 4:8:10 (4 kg de cimento, 8 kg de areia, 10 kg de brita) traço determinado a fim atingir a resistência de 35 MPa

e após foi determinado outros dois traços adicionando RCC, o segundo traço substituindo 50 % do agregado graúdo com RCC, 4:8:5:5 (4 kg de cimento, 8 kg de areia, 5 kg de brita e 5 kg de RCC), por fim, o terceiro traço substituindo 70 % do agregado graúdo com RCC 4:8:3:7 (4 kg de cimento, 8 kg de areia, 3 kg de brita e 7 kg de RCC).

Além disso, foi necessário determinar o fator a/c (água/cimento), a fixação destes parâmetros é proposta pela norma NBR 6118: 2014. A estimativa deste valor é realizada com base da curva de *Abrams* na Figura 20, levando em consideração a resistência a compressão do concreto e do cimento aos 28 dias.

Figura 20 - Curva de *Abrams* para determinação da relação a/c.



Fonte: Rodrigues (1998)

Realizando a intersecção das linhas com base no valor de 35 MPa para resistência a compressão do concreto requerida aos 28 dias e 32 MPa para resistência normal do cimento aos 28 dias, obteve-se o valor no gráfico de 0,47 para a relação água/cimento.

Assim obtivemos os traços finais definidos conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Traços de concreto.

DEFINIÇÃO TRAÇO DE CONCRETO						
Tipo	Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	RCC (kg)	A/C (ml)
Concreto Convencional	4 : 8 : 10	4	8	10	0	1,920
Concreto 50% RCC	4 : 8 : 5 : 5	4	8	5	5	1,920
Concreto 70% RCC	4 : 8 : 3 : 7	4	8	3	7	1,920
Total		12	24	18	12	5,760

Fonte: Elaboração própria (2023).

4.3 Preparação do concreto

Após, a realização de todos os ensaios de peneiramento e a determinação do traço, iniciou-se a fabricação manual do concreto convencional, a fim de realizar a comparação de sua resistência com o concreto utilizando resíduos de construção civil.

Primeiramente, para a confecção do concreto convencional, pesou-se 4 kg de cimento, 8 kg de areia, 10 kg de brita 0 e medido 1,920 ml de água. Em seguida, após todos os materiais pesados separadamente, com auxílio de um carrinho de mão (carriola), inseriu-se a areia e o cimento e com auxílio de uma enxada envolveu-se os materiais até toda mistura ficar uniforme.

Seguidamente adicionou-se a brita e misturou-se com os outros materiais já presentes. Logo após, foram adicionados a quantidade de água determinada em planilha aos poucos, até chegar na consistência ideal para a realização do *slump test* e a confecção dos corpos de prova, como demostrado na Figura 21.

Figura 21 - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Seguidamente, começou-se a preparar o concreto com 50 % de resíduos de construção civil em relação a brita. Inicialmente foram pesados 4 kg de cimento, 8 kg de areia, 5 kg de brita, 5 kg de resíduo de construção civil e medido 1,920 ml de água como demonstrado conforme a Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25 respectivamente.

Figura 22 - Pesagem do cimento – Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 23 - Pesagem da areia – Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 24 - Pesagem da brita 0 – Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 25 - Pesagem do resíduo de construção civil – Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Em seguida, inseriu-se em um carrinho de mão a areia com o cimento e com auxílio de uma enxada misturou-se todo esse material até se tornar uma mistura uniforme. Posteriormente, adicionou-se a brita e envolvida com a areia e o cimento e por fim adicionou-se gradativamente a água afim de chegar-se a uma consistência ideal para a moldagem dos corpos de prova e a realização do *slump test.*

Logo, iniciou-se a fabricação do concreto com 70% de resíduos de construção civil em relação a brita. Iniciou-se pesando todos os materiais, como demostrado abaixo respectivamente, 4 kg de cimento, 8 kg de areia, 3 kg de brita, 7 kg de RCC e medido 1,920 ml de água, conforme a Figura 26, Figura 27, Figura 28 e Figura 29 respectivamente.

Figura 26 - Pesagem do cimento – Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 27 - Pesagem da areia - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 28 - Pesagem da brita - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 29 - Pesagem do resíduo de construção civil - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Em seguida, com o auxílio de um carrinho de mão adicionou-se a areia com o cimento e misturou-se todo esse material até se tornar uma mistura uniforme. Posteriormente, adicionou-se a brita e o RCC incorporando junto com a areia e o cimento e em seguida adicionou-se gradativamente água afim de se chegar a uma consistência ideal para a moldagem dos corpos de prova e a realização do *slump test.*

4.4 *Slump test*

A realização do *slump test* do concreto convencional, inicialmente separou-se todo o conjunto de materiais necessários para o ensaio, o molde em formato de cone, a base metálica e a haste de compactação.

Iniciou-se, umedecendo o molde e placa, seguindo as especificações da NBR NM 67: 1996 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone, colocou-se o cone apoiado a base e fixado com os pés a fim de evitar-se a movimentação do mesmo, onde preencheu-se com o concreto dividindo em um terço referente à altura do cone cada camada de concreto, intercalando com 25 golpes a cada camada, a fim de promover a compactação do material como demostrado na Figura 30.

Figura 30 - Preparação para o *slump test*.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Seguidamente, retirou-se o molde e realizou- se a medição do abatimento, como apresentado na Figura 31, Figura 32 e Figura 33.

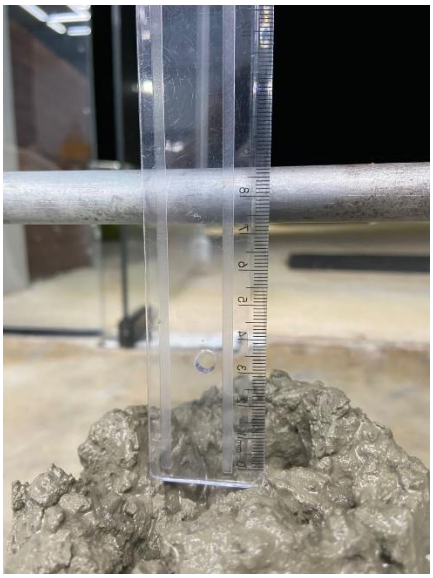
Figura 31 - Retirada do cone e posicionamento para medição do abatimento.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 32 - Medição do abatimento – Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 33 - Abatimento de 7,30cm – Concreto convencional.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Segundo a norma adotou-se o abatimento de 7,5 cm para o concreto convencional arredondando para os 5 mm mais próximo.

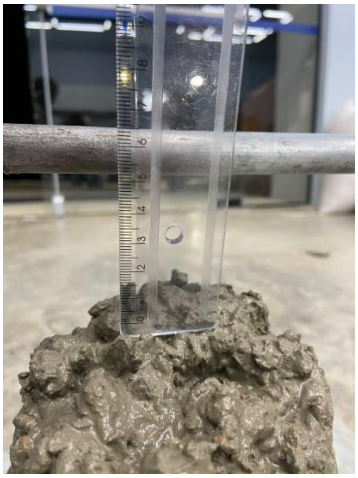
Posteriormente, realizou-se o *slump test* do concreto com 50% de RCC em relação ao agregado graúdo, inicialmente separou-se todo o conjunto de materiais necessários para o ensaio, o molde em formato de cone, a base metálica e a haste de compactação, devidamente limpos.

Iniciou-se, umedecendo o molde e placa, seguindo as especificações da NBR NM 67: 1996 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone, colocou-se o cone apoiado a base e fixado com os pés, afim de evitar-se a movimentação e assim interferência nos resultados do teste, onde foi preenchido com o concreto dividindo-se em um terço referente à altura do cone cada camada de concreto, intercalando-se com 25 golpes cada, afim de promover a compactação do material e por fim realizar a medição do abatimento como demostrado na Figura 34 e Figura 35.

Figura 34 - Medição do abatimento – Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 35 - Abatimento 5,20 cm - Concreto 50% RCC.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Segundo a norma adotou-se o abatimento de 5 cm para o concreto com 50% de RCC arredondando para os 5 mm mais próximo.

Posteriormente realizou-se o *slump test* do concreto com 70% de RCC em relação ao agregado graúdo, inicialmente separou-se todo o conjunto de materiais necessários para o ensaio, o molde em formato de cone, a base metálica e a haste de compactação, devidamente limpos.

Iniciou-se, umedecendo o molde e placa, seguindo as especificações da NBR NM 67: 1996 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone, colocou-se o cone apoiado a base e fixado com os pés afim de evitar-se a movimentação do mesmo e assim evitar erro na execução do teste, onde preencheu-

se com o concreto dividindo-se em um terço referente à altura do cone cada camada de concreto, intercalando com 25 golpes cada, afim de promover a compactação do material e assim realizar a medição do abatimento como demostrado na Figura 36 e Figura 37.

Figura 36 - Medição do abatimento - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 37 - Abatimento 3,4 cm - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Segundo a norma adotou-se o abatimento de 3,5 cm para o concreto com 70% de RCC arredondando para os 5 mm mais próximo.

4.5 Confecção dos corpos de prova

Posteriormente a realização do concreto e do *slump test,* realizou-se a confecção dos corpos de prova de todos os concretos, seguindo a NBR 5738: 2016 – Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.

Iniciou- se, preparando os corpos de prova do concreto convencional, onde foi determinado dois corpos de prova por dia como cita a NBR 12655: 2022 – Concreto de cimento *Portland* – preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, a fim de romper em 14 e 28 dias.

Primeiramente passou-se desmoldante em todos os moldes do corpo de prova com auxílio de um pincel e realizado a conferência que todos os moldes estavam devidamente travados e bem fechados, para evitar desperdício e falha na execução deles.

Em seguida, preencheu-se os corpos de prova com concreto dividindo em duas camadas iguais e intercalando cada camada com 12 golpes com auxílio de uma haste metálica, a fim de compactar todo o material. Os quatro corpos de prova foram identificados como corpo de prova 01, 02, 03 e 04 como apresentado na Figura 38 e armazenados em local seco e coberto, a fim de evitar o contato com as ações climáticas:

Figura 38 - Corpos de prova - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, desmoldou-se como demonstrado na Figura 39.

Figura 39 - Corpos de prova desmoldados - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

E imediatamente foram armazenados em tanque com solução saturada com cálcio e preservados até o dia do ensaio de compressão.

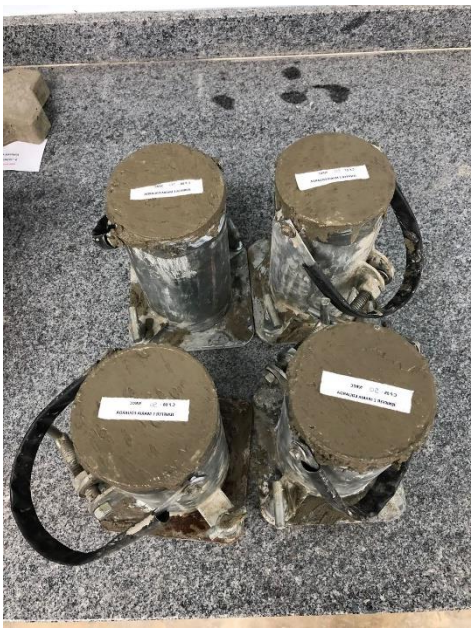
Posteriormente, foi apresentado a confecção dos corpos de prova com 50% e 70% de RCC em sua composição.

Iniciou- se, preparando os corpos de prova, onde foi determinado dois corpos de prova por dia para cada tipo de concreto como especifica a NBR 12655: 2022 – Concreto de cimento *Portland* – preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, a fim de romper em 14 e 28 dias.

Primeiramente passou-se desmoldante em todos os moldes do corpo de prova com auxílio de um pincel e realizado a conferência que todos os moldes estavam devidamente travados e bem fechados, para evitar desperdício e falha na execução dos mesmos e desta forma interferências nos resultados.

Em seguida preencheu-se os corpos de prova com concreto dividindo em duas camadas iguais e intercalando cada camada com 12 golpes com auxílio de uma haste metálica, a fim de compactar todo o material. Os oito corpos de prova, sendo quatro do concreto com 50% conforme a Figura 40 e quatro do concreto com 70% conforme a Figura 41, foram identificados pelo tipo do material e numerados em ordem de rompimento, como apresentado na imagem abaixo respectivamente e armazenados em local seco e coberto, a fim de evitar o contato com as ações climáticas.

Figura 40 - Corpos de prova - Concreto 50% RCC.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 41 - Corpos de prova - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, desmoldou-se como demonstrado na Figura 42 e Figura 43.

Figura 42 - Corpos de prova desmoldados - Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 43 - Corpos de provas desmoldados - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

E imediatamente armazenados em tanque com solução saturada com cálcio e preservados até o dia do ensaio de compressão.

4.6 Ensaio de compressão

Apresentou-se o ensaio de compressão para os corpos de prova seguindo a NBR 5739: 2018 – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, a fim de verificar as resistências dos mesmos e comparar os resultados entre os dois tipos de concreto.

Inicialmente, realizou-se uma análise dos corpos de prova que seriam rompidos em 14 dias após serem desenformados e armazenados em um tanque durante este período para sua cura.

Retirou-se dois corpos de prova de cada tipo de concreto do tanque, sendo do convencional, 50% com RCC e 70% com RCC e imediatamente foram secas as suas bases e preparados para a iniciação do ensaio.

Separou - se o prato superior e inferior que seriam posicionadas nas bases dos corpos de provas, desta forma posicionando – se o centro do testemunho com o centro do equipamento. O aparelho foi configurado de acordo com o padrão de fábrica do modelo existente no laboratório e o ensaio foi repetido para todos os corpos de prova como demonstrados na Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Figura 44 - C.P 01 - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 45 - C.P 02 - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 46 - C.P 03 - Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 47 - C.P 04 - Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 48 - C.P 05 - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 49 - C.P 06 - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Todos os resultados obtidos para o ensaio a compressão com 14 dias, foram anotados em planilha e analisados. As resistências de cada corpo de prova foram transformadas em *Megapascal* (MPa), como citado na norma.

Para a transformação, iniciou–se empregando a fórmula da área de um círculo como demonstrado abaixo, para se obter a área da base do corpo de prova, por ser a região de maior impacto da peça ao se executar o ensaio.

$$A = \pi * r^2$$

Fonte: (LISBOA, ALVES, MELO, 2017, p. 158).

Prosseguiu-se fazendo a transformação da resistência em tonelada força obtida no ensaio para *kilograma - força* e por fim, utilizada a fórmula abaixo para resistência final a compressão em MPa.

$$\frac{Carga\ da\ ruptura}{Área\ da\ seção\ transversal}$$

Fonte: (LISBOA, ALVES, MELO, 2017, p. 158).

Posteriormente, ensaiou-se os demais corpos de prova para 28 dias, seguindo as exigências estabelecidas pela NBR 5739: 2018 – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, com o objetivo de verificar a variação dos resultados entre 14 e 28 dias obtidos no ensaio e analisar se a resistência mínima exigida por norma para o objetivo principal deste trabalho foi atendida.

Iniciou-se, retirando-se dois corpos de prova de cada tipo de concreto do tanque com solução saturada de cálcio, onde foram armazenados por 28 dias após a desmoldagem dos testemunhos, sendo do convencional, 50% com RCC e 70% com RCC e imediatamente foram secas as suas bases e preparados para a iniciação do ensaio.

Separou-se o prato superior e inferior que seriam posicionadas nas bases dos corpos de provas, desta forma posicionando–se o centro do testemunho com o centro do equipamento.

O aparelho foi configurado de acordo com o padrão de fábrica do modelo existente no laboratório e o ensaio foi repetido para todos os corpos de prova como demonstrados respectivamente na Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54 e Figura 55.

Figura 50 – C.P 07 - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 51 - C.P 08 - Concreto convencional.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 52 - C.P 09 - Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 53 - C.P 10 - Concreto 50% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 54 - C.P 11 - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 55 - C.P 12 - Concreto 70% RCC.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Todos os resultados obtidos para o ensaio a compressão com 28 dias, foram anotados em planilha, analisados e anexados abaixo. As resistências de cada corpo de prova foram transformadas em *Megapascal* (MPa), aplicando o mesmo método de rompimento para 14 dias, seguindo o descrito por LISBOA, ALVES E MELLO (2017) e atendendo as exigências da norma.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Ensaio de peneiramento

Para o ensaio granulométrico dos agregados miúdos e graúdos utilizados para a fabricação dos três tipos diferentes de concreto, os resultados obtidos na análise foram satisfatórios para a areia e para a brita 0 e atendidos como o esperado. Para o resíduo de construção civil definido para ser empregado na substituição do agregado graúdo apresentou resultado insatisfatório perante o que havia sido idealizado para a execução dos pisos intertravados e dos corpos de prova.

O primeiro ensaio de peneiramento realizado apresentado na Tabela 8 abaixo correspondente a areia, foi registrado todos os valores de massa retida em cada peneira para cada ensaio e assim, obtivemos um módulo de finura de 2,19 caracterizando o material como uma areia média segundo Tabela 7 de Bauer (2000), assim sendo permitido a sua utilização em concretos.

Tabela 7 - Classificação da areia quanto ao módulo de finura.

Grossa	De 2,71 a 4,02
Média	De 2,11 a 3,38
Fina	De 1,71 a 2,85
Muito fina	De 1,35 a 2,25

Fonte: (BAUER, 2000, p. 447).

Tabela 8 - Resultados da granulometria da areia.

GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO - NBR NM 248:2003											
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 0,942				(Vr)	(Mrm)	(Mra)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	b) massa inicial seca (gr) = 0,946				Massa retida	Massa retida	Massa retida	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Variações	média	acumulada	Zona	Zona	Zona	Zona
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)	Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	0,002	0,000	0,2%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0	0	0	0
6,3	0,002	0,002	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%	0	0	0	7
4,75	0,014	0,004	1,5%	0,4%	1,1%	1,0%	1,3%	0	0	5	10
2,36	0,048	0,042	5,1%	4,5%	0,6%	4,8%	6,0%	0	10	20	25
1,18	0,080	0,044	8,4%	4,7%	3,8%	6,6%	12,6%	5	20	30	50
0,6	0,162	0,112	17,1%	11,9%	5,2%	14,5%	27,1%	15	35	55	70
0,3	0,476	0,436	50,2%	46,4%	3,8%	48,3%	75,4%	50	65	85	95
0,15	0,136	0,254	14,3%	27,0%	12,7%	20,7%	96,1%	85	90	95	100
Fundo	0,028	0,046	3,0%	4,9%	1,9%	3,9%	100,0%	100	100	100	100
Mt) Total Σ	0,9	0,9	**Módulo de Finura = 2,19**					**Diâmetro máximo = 2**			

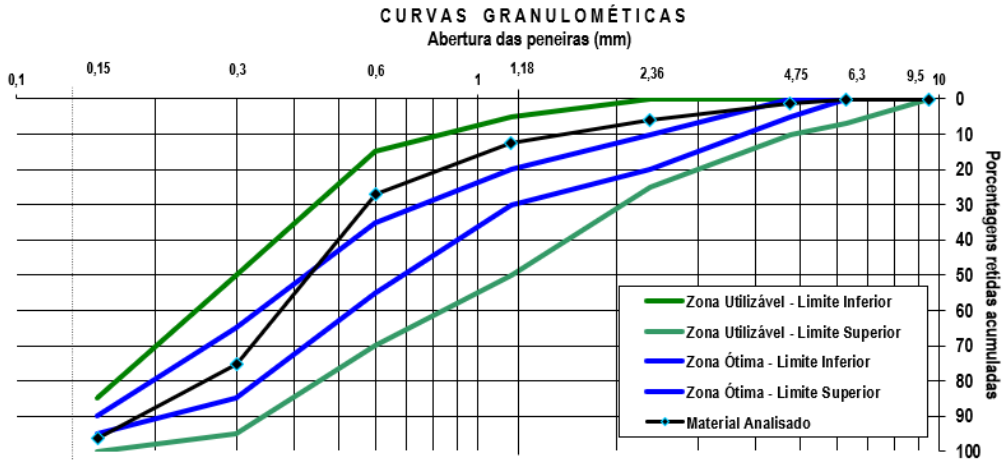
Mt = (Σ de Mrg) **Mr%** = (Mrg / Mt) *100 **Vr** = (Mr% ensaio a - Mr% ensaio b) **Mrm** = (Mr% ensaio a + Mr% ensaio b)/2 **Mra** = (Σ Mrm Massa retida media)

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100 **D. máximo** = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada **≤ 5%**

Fonte: Elaboração própria (2023).

Como resultado da planilha Tabela 8, resultamos em um gráfico de curva granulométrica para areia, sendo representado o material analisado em linha preta, localizando-se entre a zona ótima e utilizável, tornando-se desta forma a granulometria da areia dentro do limite de utilização, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia.



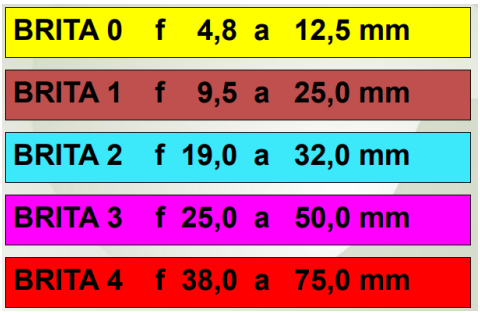
Fonte: Elaboração própria (2023).

As Tabelas 9 e 10 apresentadas respectivamente abaixo, demonstram os resultados obtidos no ensaio de peneiramento dos agregados graúdos, sendo do

pedrisco e do resíduo de construção civil que foi empregado gradativamente no concreto.

A análise realizou-se através da classificação comercial do agregado graúdo para o concreto segundo Cimento Itambe demonstrado na Figura 56, considerando o modulo de finura, onde foi encontrado através da somatória das porcentagens retidas, dividida por 100, como especificado em norma.

Figura 56 - Classificação comercial do agregado graúdo para concreto.



Fonte: Cimento Itambe**. Palestra Itambe concreto.** Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2012/12/Palestra_Itambe_Concreto.pdf Acesso em: 25 maio 2022.

O módulo de finura da brita 0, popularmente conhecido como pedrisco foi de 6,21, desta forma a caracterizando como brita 0 segundo a Figura 56 acima, logo atendendo as especificações definidas no início deste trabalho para realizar a fabricação do concreto.

Tabela 9 - Resultados da granulometria da brita.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003												
a) Massa inicial seca (kg) = 1,000			b) Massa inicial seca (kg) = 1,000									
Abertura das Peneiras (mm)	Mrg) Massa retida (gramas)		Mr%) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação ± 4 %	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b				Brita 4,75 / 12,5 Nº 0	Brita 9,5 / 25 Nº 1	Brita 19 / 31,5 Nº 2	Brita 25 / 50 Nº 3	Brita 37,5 / 75 Nº 4
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				5 - 30	90 - 100
25	0,0	0,02	0,0%	0,4%	0,4%	0,2%	0,2%		0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	0,0	0,01	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,3%		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	0,18	0,38	3,6%	7,6%	4,0%	5,6%	5,9%	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	1,09	1,96	22,0%	39,2%	17,2%	30,6%	36,5%	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	1,93	1,42	38,9%	28,4%	10,5%	33,7%	70,2%	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	1,21	0,71	24,4%	14,2%	10,2%	19,3%	89,5%	80 - 100	95 - 100			
2,36	0,53	0,42	10,7%	8,4%	2,3%	9,5%	99,0%	95 - 100				
Fundo	0,02	0,08	0,4%	1,6%	1,2%	1,0%	100,0%	**Diâmetro Máximo** = abertura da peneira % retida acumulada ≤ 5 %				
Mt) Total	5,0	5,0	**D. máx. =**	**12,5mm**	**Módulo de Finura =**		**6,21**	**Mód. Finura** = (S % retida acumulada nas peneiras normais) / 100				
Mt = (S de Mrg) [**Mr%** = (Mrg / Mt) * 100] [**Vr** = (Mr% ensaio a - Mr% ensaio b)] [**Mrm** = (Mr% ensaio a + Mr% ensaio b)/2] [**Mra** = S Mrm Massa retida media												

Fonte: Elaboração própria (2023).

A Tabela 10 a seguir apresenta o valor de 0,04 para módulo de finura do RCC, portando não atendendo o mínimo para a classificação do agregado graúdo, desta forma sendo insatisfatório o resultado e sua caracterização diante ao que havia sido planejado para realizar sua substituição no concreto, isto decorreu -se pôr os resíduos retirados do aterro de inertes terem sido separados manualmente para sua padronização granulométrica, desta forma não conseguindo deixar todo o material homogêneo em relação a brita 0 ao realizar o ensaio.

Tabela 10 - Resultados da granulometria do RCC.

TABELA DE PENEIRAMENTO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL												
	a) Massa inicial (g) = 1.000				**b) Massa inicial (g) = 1.000**							
Abertura das Peneiras (mm)	Mrg) Massa retida (gramas)		Mr%) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação ± 4 %	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2				Brita 4,75 / 12,5 Nº 0	Brita 9,5 / 25 Nº 1	Brita 19 / 31,5 Nº 2	Brita 25 / 50 Nº 3	Brita 37,5 / 75 Nº 4
37,5	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				5 - 30	90 - 100
25	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	0,000	0,006	0,0%	0,6%	0,6%	0,3%	0,3%		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	0,164	0,168	16,4%	16,9%	0,5%	16,7%	17,0%	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	0,294	0,246	29,5%	24,8%	4,7%	27,1%	44,1%	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	0,222	0,214	22,2%	21,6%	0,7%	21,9%	66,0%	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	0,152	0,164	15,2%	16,5%	1,3%	15,9%	81,9%	80 - 100	95 - 100			
2,36	0,152	0,176	15,2%	17,7%	2,5%	16,5%	98,4%	95 - 100				
Fundo	0,014	0,018	1,4%	1,8%	0,4%	1,6%	100,0%	**Diâmetro Máximo** = abertura da peneira % retida acumulada ≤ 5 %				
Mt) Total	1,0	1,0	**D. máx. = 12,5mm**		**Módulo de Finura = 0,04**			**Mód. Finura** = (S % retida acumulada nas peneiras normais) / 100				
Mt = (S de Mrg) [**Mr%** = (Mrg / Mt) * 100] [**Vr** = (Mr% ensaio a - Mr% ensaio b)] [**Mrm** = (Mr% ensaio a + Mr% ensaio b)/2] [**Mra** = S Mrm Massa retida media]												

Fonte: Elaboração própria (2023).

Diante deste motivo, foi-se esperado alterações nas resistências dos concretos que seriam empregados o RCC, por não apresentar resultado suficiente para sua caracterização e não se enquadrar na norma dos agregados miúdos e graúdos.

5.2 Ensaio *slump test*

Segundo Andolfato (2002), “a consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada com o estado de fluidez da mistura”, onde sua verificação pode ser feita através do *slump test,* na Tabela 11 estão descritos os valores esperados de abatimento para cada consistência e tipo de construção.

Tabela 11 - Classificação das consistências do concreto.

Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25
Tipos de Construção	**Abatimento (cm)**
Fundações, tubulões, paredes grossas	3 a 10
Vigas, lajes, paredes grossas	5 a 10
Pavimentos	3 a 5
Obras maciças	2 a 5

Fonte: Andolfato, 2002. (Modificado pelos autores)

Os resultados obtidos após o ensaio estão descritos na Tabela 12, comparando-se com os valores esperados na Tabela 11, observa-se que para o concreto convencional e para o traço com 50% de RCC considera-se um abatimento de consistência média, já para o traço de 70% de RCC considera-se uma resistência firme. Analisando em relação ao tipo de construção os dois traços com RCC atendem o valor esperado de abatimento para a finalidade de pavimento, ficando entre 3 e 5 cm.

Tabela 12 - Abatimento por *Slump Test.*

Tipo	Abatimento (cm)	Abatimento NBR 67:96 (cm)
Concreto Convencional	7,3	7,5
Concreto 50 % RCC	5,2	5
Concreto 70 % RCC	3,4	3,5

Fonte: Elaboração própria (2023).

5.3 Ensaio de compressão

Os resultados abaixo, apresentados na Tabela 13 demonstram todas as resistências obtidas na ruptura dos testemunhos em 14 e 28 dias. Logo, exemplificando que quanto maior a porcentagem de resíduo de construção civil empregado no concreto, menor será sua resistência, desta forma modificando suas

propriedades mecânicas. Isso se deve, por o material reutilizado apresentar diversidade granulométrica, não apresentar resultado satisfatório no ensaio de peneiramento, desta forma não se adequando ao mínimo dos parâmetros definidos por norma, quando se pretende fazer sua substituição como agregado miúdo ou graúdo e pela amostra recolhida ser composta por resquícios em sua maior parte de materiais que não apresentam boa resistência, como por exemplo o gesso, telhas cerâmicas e materiais orgânicos como folhas.

Apesar do material ter sido separado minuciosamente, não foi possível retirar por inteiro estes fragmentos para fazer sua utilização.

Tabela 13 - Resultados gerais do ensaio de compressão.

RESULTADOS - ENSAIO DE COMPRESSÃO							
Área do CP 10x20 cm							
78,54 cm²	Tipo	Data de rompimento (14 dias): 05/05/2023					
Identificação corpo de prova		**14 dias**					
		Resistência **1** (tf)	Resistência **1** (kgf)	Resistência **1** (MPa)	Resistência **2** (tf)	Resistência **2** (kgf)	Resistência **2** (MPa)
01-02-03-04	Convencional	18,12	18120,00	22,62	18,33	18330,00	22,89
05-06-07-08	50 % RCC	11,91	11910,00	14,87	11,80	11800,00	14,73
09-10-11-12	70 % RCC	7,15	7150,00	8,93	9,66	9660,00	12,06
		Data de rompimento (21 dias): 18/05/2023					
Identificação corpo de prova	Tipo	**28 dias**					
		Resistência **1** (tf)	Resistência **1** (kgf)	Resistência **1** (MPa)	Resistência **2** (tf)	Resistência **2** (kgf)	Resistência **2** (MPa)
01-02-03-04	Convencional	21,82	21820,00	27,24	21,17	21170,00	26,43
05-06-07-08	50 % RCC	13,76	13760,00	17,18	13,90	13900,00	17,36
09-10-11-12	70 % RCC	10,92	10920,00	13,63	10,09	10090,00	12,60

Fonte: Elaboração própria (2023).

A Tabela 14, definiu-se os corpos de prova que seriam utilizados para análise final de resistência a compressão para atender o principal objetivo deste trabalho. Os testemunhos foram definidos a partir da NBR 12655: 2022, descartando o corpo de prova com menor resistência e preservando o de maior valor para a verificação.

O concreto convencional em 28 dias apresentou 27,24 MPa de resistência a compressão, assim não atendendo ao mínimo previsto para finalidade de piso intertravado para passeio de pessoas como cita a norma. Logo, os concretos de 50%

e 70% de RCC também não atingiram o mínimo de resistência para a finalidade estudada.

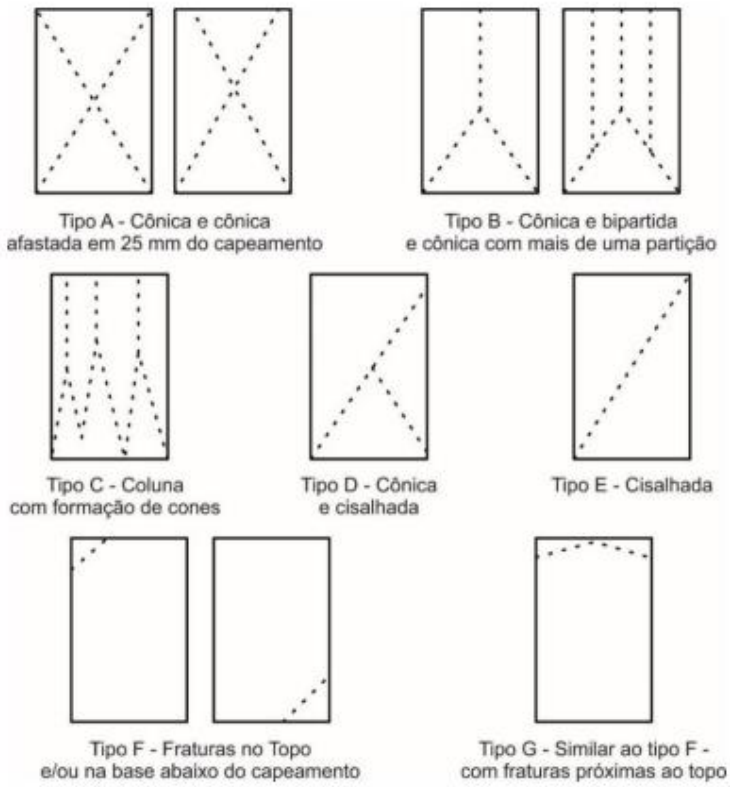
Tabela 14 – Resultados do ensaio de compressão.

RESULTADOS ENSAIO DE COMPRESSÃO – ABNT NBR 12655: 2022		
Tipo do concreto	Resistência (MPa)	Resistência (Mpa)
	14 dias	**28 dias**
Convencional	22,89	27,24
Concreto 50% RCC	14,87	17,36
Concreto 70% RCC	12,06	13,63

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os corpos de prova após serem rompidos, foram analisados e classificados pelo tipo de ruptura, segundo o Anexo A da NBR 5739: 2018 – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, conforme Figura 57.

Figura 57 - Tipo de ruptura de corpos de prova.



Fonte: ABNT NBR 5739: 2018.

A Figura 58 abaixo, apresenta a ruptura do concreto convencional em 14 dias, se classificando como tipo F, com fraturas no topo, esta classificação ocorreu possivelmente por a carga não estar totalmente distribuída no centro do testemunho, desnivelado em relação ao centro da prensa, quando se realizou o ensaio, desta forma rompendo apenas em um dos cantos de sua face.

E aos 28 dias, apresentou uma ruptura classificada como tipo E cisalhada, conforme mostra a Figura 59, este tipo de ruptura ocorreu devido a força cortante que foi feita ao se realizar o ensaio, assim se tornando aceitável esta classificação.

Figura 58 - Ruptura concreto convencional 14 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 59 - Ruptura concreto convencional 28 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Analisou-se o rompimento do concreto com 50 % de RCC aos 14 e 28 dias e para ambos é possivel observar que a ruptura ficou mais próxima da classificação G, fraturas próximas ao topo, Figura 60 e Figura 61 evidenciam esse comparativo com a Figura 57. Este tipo de ruptura, sucedeu-se por o corpo de prova não estar com a base totalmente nivelada na prensa.

Figura 60 - Ruptura concreto 50% RCC 14 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 61 - Ruptura concreto 50% RCC 28 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Para o concreto com 70 % de RCC aos 14 dias, o rompimento pode ser classificado como tipo G, com fraturas próximas ao topo Figura 62, isto também se deve possivelmente pela falha de posicionando do corpo de prova no equipamento e com o decorrer dos ensaios foi possivel visualizar que os concretos com 70% de RCC não apresentaram boa aderencia quando misturados com os demais materiais.

Para o rompimento aos 28 dias classificada com tipo B, cônica e bipartida, conforme a Figura 63, demonstra que toda carga foi distribuída de forma igual em toda a face superior do corpo de prova.

Figura 62 - Ruptura concreto 70% RCC 14 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 63 - Ruptura concreto 70% RCC 28 dias.

Fonte: Elaboração própria (2023).

É preciso pontuar que ao decorrer das análises realizadas visualmente após o rompimento de todos os corpos prova, foi possível verificar que além do concreto perder sua resistência e aderência, quanto maior a porcentagem de resíduos utilizados, o concreto também apresentou esfarelamento quando submetido ao algum atrito.

5.4 Protótipo

Com o intuito principal do trabalho sendo o estudo da adição do RCC no concreto para utilização em pisos intertravados, confeccionou-se 3 protótipos de piso para verificação visual para possível aplicação.

Os resultados foram satisfatórios já que as lajotas confeccionadas apresentaram boa aparência nos 3 traços produzidos, não apresentaram fissuras e nem segregação como demonstrado nas imagens abaixo. Figura 64 sendo o traço convencional, Figura 65 o traço com 50 % de RCC e Figura 66 o traço com 70 % de RCC.

Figura 64 - Lajota com concreto convencional

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 65 - Lajota com concreto 50 % RCC

Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 66 - Lajota com concreto 70 % RCC

Fonte: Elaboração própria (2023).

Apesar dos resultados de resistência obtidos não atenderem o mínimo solicitado pela norma de 35 MPa, é possível confeccionar as lajotas com esse resíduo que apresentou boa trabalhabilidade para a execução do concreto e modelagem na forma, quando empregado 50% do material.

Logo, vale a pena novos estudos em outras porcentagens menores de adição do resíduo em busca de melhores valores de resistência.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta o estudo da comparação da resistência a compressão do concreto convencional com o concreto com RCC, utilizando um traço base e o modificando proporcionalmente com os resíduos recolhidos no Aterro de Inertes de Sorocaba/SP, substituindo no agregado graúdo nas porcentagens de 50% e 70% e conclui-se que para a resistência mínima estabelecida por norma para a aplicação de piso intertravado de passeio de 35 MPa, o traço convencional obteve uma resistência de 27,4 MPa e para o concreto com RCC nas porcentagens estabelecidas obteve-se resistências de 17,36 MPa para 50% de RCC e 13,63 MPa para 70%, portanto através deste estudo é possível afirmar que não é possível a reutilização do RCC para a finalidade de piso intertravado nas porcentagens analisadas segundo o que a norma estabelece. Isso pode ser justificado pela variedade e desproporção nas formas geométricas do agregado RCC, onde se observou que não apresentou boa trabalhabilidade, homogeneidade e aderência na mistura com os demais agregados, outra possibilidade também não descartada é de que a amostra coletada do RCC era constituída por materiais orgânicos, como folhas e gravetos. Entretanto, ainda que não tenha atingido a resistência conforme a norma determina, não se descarta a possibilidade de utilização para aplicação em locais que não demandem função estrutural.

Cumpriu-se os objetivos iniciais do trabalho, uma vez que os ensaios de granulometria por peneiramento dos agregados, o ensaio de *slump test* e de resistência a compressão foram realizados perante as determinações das normas e possibilitaram a confiabilidade dos resultados para que fosse possível uma conclusão clara e precisa.

Este trabalho evidenciou a importância do estudo da reutilização de resíduos sólidos, a fim de colaborar para a diminuição dos impactos ambientais causados pelo descarte destes resíduos de forma inadequada. Em pesquisas futuras, recomenda-se que seja estudado outras variações de porcentagens com o intuito de resultados melhores ou outras finalidades de aplicação para o concreto com RCC.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/controle-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Uma breve história do Cimento Portland**. Disponível em: < https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 9 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 10004:** Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5735:** Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 248:** Agregados-determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação- especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto- procedimento. Rio de Janeiro 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 16915:** Agregados amostragem. Rio de Janeiro 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NM 67:** Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 5739:** Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 12655:** Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2006. p. 3. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

BRASIL. **Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. PLANALTO, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 17 set. 2022.

BROOKS, J.J; NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto 2º edição**. Editora: techbooks, 2013, p. 398.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção. Volume 1**. 5 ed. Uberlândia – MG: LTC. 2000. P. 447.

CIMENTO ITAMBE**. Palestra Itambe concreto.** Disponível em: < https://www.cimentoitambe.com.br/wpcontent/uploads/2012/12/Palestra_Itambe_Concreto.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2023.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE)**, Resolução n° 307, de 5 de julho de 2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil**, julho, 2002.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE **Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos**. Diário Oficial da União (Brasília), julho, 2004.

COUTO, José Antônio Santos.; CARMINATTI, Rafael Lima.; NUNES, Rogério Reginato Alves.; MOURA, Ruan Carlos A. **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 49–58, 2013. Disponível em < https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>. Acesso em: 13 set. 2022.

DE MATOS, Antônio Teixeira. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Editora UFV, 2020. p. 1. Disponível em < https://books.google.com.br/books?id=2FEEEAAAQBAJ&lpg=PT4&ots=YB7MuO5Oql&dq=polui%C3%A7%C3%A3o%20ambiental&lr&hl=pt-BR&pg=PT4#v=onepage&q=polui%C3%A7%C3%A3o%20ambiental&f=false >. Acesso em 15 nov. 2022

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Relatório de pesquisa: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Brasília: IPEA, 2012. p. 42.

GOTO, Hudson; CAIXETA, João Paulo Ribeiro; CENTOFANTE, Roberta. **Materiais de construção**. Grupo A, 2018. E-livro. p.86. ISBN 9788595027725. Disponível em < https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595027725/>. Acesso em: 9 abr. 2023

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000.** Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. p.15. Disponível em:< https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-27072022-082553/pt-br.php.> Acesso em: 15 nov. 2022.

LISBOA, Ederval de Souza; ALVES, Edir dos Santos; MELO, Gustavo Henrique Alves Gomes. **Materiais de construção: concreto e argamassa**.Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595020139. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020139/>. Acesso em: 24 mai. 2023.

METALENGE CONCRETOS. **Saiba tudo sobre concreto armado e concreto protendido.** Disponível em: <https https://metalengeconcretos.com.br/blog/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** Editora Oficina de Textos, 2014, p. 11.

PEREIRA, Caio. **TIPOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em: <escolaengenharia.com.br/tipos-de-residuos/>. Acesso em: 18 mar. 2023.

PORTAL DO CONCRETO. **Sabendo um pouco mais sobre concreto.** Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/tipos.html>. Acesso em: 6 set. 2022.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto.** ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. Disponível em < https://www.studocu.com/pt-br/document/instituto-federal-de-educacao-ciencia-e-tecnologia-da-bahia/concreto-armado/et-67-parametros-de-dosagem-do-concreto-1998/50120605>. Acesso em: 16 abr. 2023

SUPREMO CIMENTO. **Tipos de concreto e suas aplicações.** Disponível em <www.supremocimento.com.br>. Acesso em: 13 set. 2022.

TELLES, Dirceu D’ Alkmin. **Resíduos sólidos gestão responsável e sustentável.** Editora Blücher, 2022, p.15.