

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

IVONE CARRIEL DOS SANTOS¹
PATRICIA LIMPER²

RESUMO: O ramo de construções e serviços de arquitetura e engenharia civil aumentam gradativamente a medida em que o tempo passa. A construção civil é um ramo que produz toneladas de resíduos/entulho por ano, prejudicando o canteiro de obra, o andamento dos serviços e o meio ambiente com o descarte irregular desses resíduos. É preciso desenvolver novas técnicas e novos equipamentos que proporcionem o aproveitamento desses resíduos, reduzindo assim as contaminações e a poluição da água e do solo. Uma alternativa de utilização dos Resíduos da Construção Civil (RCC), é a moagem e o uso para a fabricação de concreto. O principal objetivo desse artigo é de promover a análise das resistências dos concretos produzidos com RCC, em diferentes porcentagens de quantidade, substituindo o agregado graúdo na produção do concreto. Com base nos resultados do projeto desenvolvido, a resistência do concreto fabricado com a utilização de RCC se mostrou satisfatória, alcançando valores altos de resistência. O uso de RCC para a fabricação do concreto demonstrou ser uma forma eficiente para possibilitar uma destinação correta e ecológica dos resíduos, proporcionando uma sustentabilidade entre os humanos e o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: RCC; Resíduos da construção civil; Concreto; Resistência do concreto.

ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF THE CONCRETE PRODUCED WITH RESIDUES OF THE CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT: The branch of constructions and services of architecture and civil engineering increase gradually the measure in which the time goes by. The civil construction is a branch that produces tons of residues / rubbles in a year, damaging the work flowerbed, the progress of the services and the environment discards with it irregularly of these residues. It is necessary to develop new techniques and newly equipment's that promote the use of these residues, reducing so the contaminations and pollution of the water and of the ground. An alternative of use of the RCC (residues of the civil construction), it is the grinding and use for the concrete manufacture. The main objective of this article is of promoting the analysis of the resistances of the concrete ones produced with RCC, in different quantity percentages, substituting the big lodger in the production of the concrete. Checking the results of the developed project, the resistance of the concrete manufactured with the use of RCC, it appeared satisfactory reaching high resistance values. The use of RCC for the manufacture of the concrete, showed the efficient form of promoting a correct and ecological destination of the residues, promoting a sustainability between the human ones and the environment.

KEY-WORDS: RCC; Residues of the civil construction; Concrete; Resistance of the concrete.

¹ Acadêmica de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: ivonecarriels@gmail.com

² Professora Especialista em Engenharia de Qualidade e Segurança do Trabalho, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: patricia_limper@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um ramo que cresce em larga escala na sociedade. Fato esse ocorre pela necessidade de moradia, segurança e qualidade de vida dos humanos. Com a tecnologia a favor, a humanidade desenvolveu técnicas eficazes para a construção de suas residências. Pode ser citado como exemplo: Steel frame (modelagem estrutural em aço), Wood frame (modelagem estrutural em madeira), concreto pré-moldado, entre outros (BRASIL; FILHO, 2020).

A preocupação com o ambiente e as condições do mundo se tornaram frequentes em quaisquer ramos da engenharia civil ou em outras áreas de estudo. A busca por desenvolver/aprimorar técnicas sustentáveis é um fator importante que impacta diretamente na qualidade de vida dos seres vivos do planeta Terra (SANTOS; SOUZA, 2016).

Mesmo com o avanço tecnológico das modalidades construtivas, segundo Laruccia (2014), a produção de Resíduos da Construção Civil (ou RCC) torna-se cada vez mais preocupante, pois, por dia, são produzidas dezenas de toneladas de entulho.

Para Paiva Silva *et. al* (2019), a construção civil no Brasil está ligada a 40% do total da produção de entulho e de resíduos pesados. Esses resíduos, muitas vezes, são mal gerenciados e causam uma série de problemas ligados à sustentabilidade.

A exagerada produção de resíduos na construção civil está atrelada a diversos fatores, dentre eles, destacam-se os problemas relacionados à projetos mal dimensionados, falta de modulação e ambientação quando utilizado blocos estruturais, falhas na execução que leva a cortes e desperdícios de materiais, mão de obra desqualificada e falhas no planejamento de estoque (BRASIL; FILHO, 2020)

As falhas mencionadas anteriormente, geram resíduos e por muitas vezes, o RCC não é reconhecido como material reaproveitável ou reutilizável em outra atividade, tendo sua destinação final de forma incorreta, sendo jogado em locais impróprios, como lixões que provocam a poluição ambiental.

O autor comenta ainda que todo lixo, entulho e resíduos produzidos pela construção civil e de qualquer outra fonte, quando descartados de maneira incorreta, geram acumulações e violentos impactos na natureza, como: contaminação do solo e da água pelo chorume, poluição visual, transmissão de doenças, centro de proliferação de pragas/insetos, forte odor, contaminação da fauna próxima e poluição do ar provocado pelos gases tóxicos.

Outro aspecto do RCC que pode ser mencionado, é que em grandes centros urbanos onde o espaço tornou-se disputado e apertado, os entulhos acumulados em ruas e calçadas, causam desconforto visual e desconforto na utilização das vias para pedestres e veículos, podendo até causar acidentes (PROTA, 2014).

De acordo com Santos *et. al* (2019), o desenvolvimento sustentável está se expandindo periodicamente, promovendo mudanças e aprimoramentos nas formas de extração de recursos naturais e a utilização dos recursos disponíveis. Tal fato, altera a metodologia de pensamento dos fabricantes de produtos do ramo civil e introduz valores nos produtos antes vistos como descarte. Essa ideia de sustentabilidade permite a harmonia entre humanos, construções e natureza.

Visando a sustentabilidade e a contribuição com o meio ambiente, este trabalho foi desenvolvido com objetivo geral de proporcionar o uso do RCC na produção do concreto, possibilitando uma forma alternativa de utilização desses resíduos da construção civil.

Mediante aos estudos prévios em diversas literaturas, o objetivo específico dessa pesquisa é de utilizar o RCC na fabricação do concreto, realizando substituições percentuais do total de agregados graúdos naturais.

Com esse estudo, foi possível verificar a resistência à compressão dos corpos de prova de concreto com RCC e comparar com resultados de resistência à compressão de concreto que foram produzidos sem o uso de RCC.

Os dados coletados e aqui apresentados, contribuem para a colaboração de novos estudos relacionados à sustentabilidade e a produção de concreto com materiais alternativos, buscando uma forma de desenvolvimento sustentável das práticas da engenharia civil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A evolução da Construção civil e os problemas com a produção de resíduos

Com o desenvolvimento do ser humano, que era nômade e passou a ser sedentário, as aglomerações de pessoas começaram a ser corriqueiras. As técnicas de cultivo de plantas, de alimento e técnicas de uso da água foram essenciais para essa evolução. Logo, as primeiras casas passaram a ser construídas com aprimoramento das técnicas de construção. Dessa maneira, a construção de vias transitáveis e de canais de água e os conjuntos de habitações foram crescendo, e assim os centros urbanos criaram forma e poder. Porém, de acordo com Brasil (2020), os problemas com os resíduos humanos e resíduos das construções tornaram-se frequentes.

A medida em que o tempo passa, a necessidade de moradia e segurança passou a ser prioridade nas vidas das pessoas, tendo suas casas como local de máxima proteção e conforto. O crescimento populacional alavancou o aumento das construções urbanas, movendo diversos recursos e mão de obra para o setor de construção civil (BATISTA 2019).

Devido esse panorama, a procura por projetos e execução de casas, prédios e lojas, cresceram rapidamente. Tal fato, trouxe benefícios como a geração de empregos e a movimentação econômica local e global. A busca por serviços de engenharia civil, por novas tecnologias e ferramentas modernas foram mais incisivas e proporcionaram ao homem, uma ampla escala evolutiva no quesito construção e modernização. Logo as grandes pontes, prédios, túneis, obras de pavimentação e obras mistas apareceram e o setor de construção está evoluindo gradativamente (KAEFER, 1998).

Contudo, os autores Chaves *et.al* (2020) salientam que, com os avanços tecnológicos e as inovações nas construções, os problemas e patologias relacionadas à sustentabilidade ficaram mais frequentes e preocupantes. É possível perceber que os canteiros de obras, as calçadas e vias públicas estão repletos de resíduos e entulhos de construção.

No Brasil, até meados de 2020, não existiam políticas de gerenciamento e controle de resíduos da construção civil, o que dificultava ainda mais o controle de destinação do RCC. Em 2002, foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – que começou a estabelecer resoluções e promover estudos sobre RCC no país. (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004 (2004), os resíduos são materiais sólidos e/ou semissólidos provenientes das atividades industriais, domiciliares, hospitalares, agrícolas e de quaisquer ramos que produzam algum tipo de material residuário. Nessa norma, não está descrito, especificamente, o que é e como deve ser descartado os resíduos da construção civil.

Esses resíduos da construção civil são definidos, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), como os volumes sólidos provenientes da construção civil, seja por demolição, escavação de terreno, reparos e reformas. São classificados como RCC os: tijolos, telhas, solos, rocha, metais, vidros, plásticos entre outros materiais que são classificados nas obras como entulho.

O problema principal do RCC é a sua destinação final. Por muitas vezes, esses resíduos acabam sendo descartados em locais impróprios, ocasionado problemas como a

contaminação do solo, dos afluentes e do lençol freático. Preocupado com esses fatores, a CONAMA (2002), em sua resolução 307, responsabiliza os geradores dos resíduos a desenvolverem métodos adequados para a destinação dos resíduos. Essa resolução explana ainda que devem ser tomadas ações com o objetivo de não geração de entulho e promove a ideia de reutilização e reciclagem do mesmo.

Outro responsável pela geração e destinação dos RCC são os municípios. De acordo com a CONAMA, esses também são responsáveis pela produção e controle de destinação correta e sustentável dos resíduos sólidos. O papel fundamental dos municípios é o de fiscalizar, orientar, incentivar medidas de reaproveitamento e de reuso de materiais de construção, possibilitando um crescimento sustentável da cidade em relação com o meio ambiente.

2.2 Principais agentes geradores de RCC

O RCC é um subproduto da construção civil que quando descartado de forma errônea, pode causar problemas com a estética urbana, atrapalhar a passagem de pedestres, atrair a deposição de resíduos inertes e tóxicos, torna-se centro de proliferação de pragas/doenças, aumentar os custos municipais com o saneamento e, de modo geral, afetar a qualidade de vida da população (NAGALLI, 2016).

À vista disso, pode-se apontar e classificar os tipos de perdas na construção civil como sendo as fontes geradoras de RCC. As perdas na construção civil estão ligadas a diversos fatores, como: transporte, que corresponde as perdas de materiais devido às condições de transporte inadequadas; perdas com estoques, relacionados a materiais estocados sem necessidade e/ou mal gerenciamento na compra e na manutenção dos materiais estocados; além de perdas no processamento e manuseio, decorrente ao desenvolvimento de atividades mal executadas e relacionadas a perdas nos processamentos do produto (BRASIL; FILHO, 2020).

Shingo (1996) também levanta alguns fatores ligados a perdas tais como: a fabricação de produtos defeituosos, relacionados a fabricação de produtos com defeito ou que necessitam de retrabalho, pois não atendem as especificações de projeto; perdas com superprodução, relacionadas a produção excessiva e de materiais perecíveis; e deficiência no gerenciamento de projetos, onde essa perda está ligada diretamente na concepção e gerenciamento de projetos nas atividades desenvolvida de maneira errada, ocasionando erros de projeto.

Pode-se citar ainda como fatores impulsionadores de perdas na construção civil: a mão de obra desqualificada, onde esse tipo de perda está ligado aos processos de manipulação inexperiente de materiais, ocasionando falhas e defeitos; as perdas decorrentes do planejamento orçamentário, que está ligado ao mal planejamento orçamentário, ocasionando compras de matérias em momentos inoportunos que acabam sendo estocados e tendem a danificarem conforme o tipo de material; perdas com acidentes de trabalho; perdas com vandalismo decorrente de atividades de depredação/arruaça de vândalos; e também perdas por extravio, muito frequente em obras, ocasionando a compra e desperdício de materiais que já foram comprados e cotados (KARPINSK, 2009).

De acordo com Santos *et. al* (2019) *apud* Prota (2014), a maior parte da produção de resíduos sólidos na construção civil está ligada diretamente na concepção e gerenciamento de projetos. Na maioria das vezes, por falhas do projetista e/ou inexperiência, os projetos são superdimensionados ou subdimensionados, provocando mudanças e ajustes no decorrer da obra.

Os autores Jonh e Agopyan (200) e Prota (2014) acrescentam que a busca por experiência profissional e por sustentabilidade em canteiros de obras, devem ser constantes. Os procedimentos de concepção de projetos de estrutura, projetos hidrossanitários, projetos luminotécnicos e de acabamentos precisam seguir interligados e entrelaçados, evitando possíveis falhas e/ou retrabalho no andamento da obra.

Ávila (2011) explica que a compatibilização de projetos desempenha papel fundamental para a não produção de resíduos. Contudo, a competitividade de mercado é um outro fator que promove perdas de materiais nos canteiros, desperdícios e produção de resíduos. Devido a competitividade e ao capitalismo exacerbado, o autor destaca que as empresas inexperientes e os profissionais novos no mercado acabam sendo os agentes provedores de obras mal executadas por falta de compatibilização de projetos.

2.3 Classificação do RCC

A ABNT NBR 10004 (2010) apresenta em suas considerações a classificação dos resíduos conforme sua agressividade, periculosidade e risco ambiental. O quadro 1, a seguir, representa a classificação dos resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:

Quadro 1: Classificação dos resíduos pela ABNT NBR 10004

Classe I - Perigosos	Classe II - Não Perigosos	
Resíduos perigosos são aqueles capazes de causar danos ao meio ambiente e a saúde humana. Dentro dessa classificação estão os resíduos que possuem características de corrosividade, toxicidade, inflamabilidade, patogenicidade e reatividade. São exemplos dessa classe: pilhas, baterias, seringas e agulhas, solventes, equipamentos hospitalares, entre outros.	<p>A) Não Inertes</p> <p>São classificados como não inertes, os resíduos que não apresentam danos severos ao meio ambiente e a saúde humana, tendo como maior característica a solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade. Exemplos: matéria orgânica e papeis biodegradáveis.</p>	<p>B) Inertes</p> <p>São classificados como inertes, os resíduos que, quando expostos em contato com a água, não sofrem alteração em suas composições e não apresentam riscos à saúde humana e danos severos ao meio ambiente. Exemplo: garrafas pet, tijolos e blocos cerâmicos.</p>

Fonte: Adaptação feita da ABNT NBR 10004

A produção de resíduos nos canteiros de obras é alta e bastante diversificada em sua composição. Analisando o quadro 1 anterior, existem vários materiais que podem ser considerados recicláveis e reaproveitáveis, como tijolos, blocos cerâmicos, plásticos e papeis. Pois, esses não oferecem risco à saúde humana e ao meio ambiente. Entretanto, ainda na composição de entulho das obras, existem os materiais que causam prejuízos e riscos para os seres vivos e para o planeta, sendo os resíduos considerados perigosos, como solventes, tintas e produtos químicos.

Com a problemática envolvendo resíduos da construção civil, a CONAMA (2002) em uma de suas resoluções, mais especificamente a 307, regulamenta, classifica e organiza em os RCC em classes distintas, segundo a sua origem e possível reaproveitamento e/ou reciclagem. A seguir no quadro 2, são listadas as classes de RCC, que também foram estudadas, listadas e mencionadas pela CONAMA (2002); Lima e Lima (2009) e Brasileiro e Matos (2015).

Quadro 2: Classificação dos Resíduos Sólidos

Classe	Definição	Exemplos	Destinação final
A	São resíduos provenientes de construção, reformas, demolição e reparos que podem ser reciclados e/ou reutilizados em outras atividades do ramo civil	Tijolos, blocos de cimento, telhas de fibrocimento, solos, argamassa, tubos, meio-fio, tampas de concreto e concreto endurecido	Reciclagem, moagem e reaproveitamento como agregado para concreto, reutilização em obras de reforço do solo e subsolo, disposição em aterros legalizados ou locais específicos normatizados e fiscalizados.

B	São resíduos que podem ou não ser reaproveitados em outro ramo da construção	Papeis, madeiras, metais, vidros, papelão e plásticos	Reciclagem, reaproveitamento, disposição em aterros legalizados ou locais específicos normatizados e fiscalizados.
C	Esse tipo de resíduo engloba os materiais que ainda não foram desenvolvidos métodos eficazes de reutilização	Isopor e gesso	Disposição em aterros legalizados ou locais específicos normatizados e fiscalizados.
D	São os resíduos considerados perigosos, tóxicos e/ou prejudiciais oriundos de demolição	Tintas, óleos, telhas de amianto e solventes	Disposição em aterros legalizados ou locais específicos normatizados e fiscalizados.

Fonte: Adaptação feita da CONAMA (2002); Lima e Lima (2009); Brasileiro e Matos (2015)

2.4 Gerenciamento de RCC

Devido a alta produção de resíduos nas obras, a CONAMA (2002) na resolução 307, determina que é responsabilidade do gerador e do município, desenvolverem métodos eficazes de processamento, reaproveitamento e reciclagem dos mesmos.

A preocupação com a poluição ambiental e com o desenvolvimento sustentável está se desenvolvendo dia pós dia. Esses temas devem ser considerados primordiais para a evolução humana, visto que a natureza fornece toda matéria-prima para a produção dos materiais utilizados nos canteiros de obras (DOS SANTOS *et. al*, 2019).

Para Lordêlo *et. al* (2007) é necessário que os profissionais do ramo de construção civil, projetistas e empresas tomem partida no processamento de RCC. É de suma importância a implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos nas obras que estão operando.

Os autores comentam, ainda, que um programa de geração de resíduos sólidos é bem desenvolvido quando realiza concepções de projeto bem difundidas, compatibilização de projetos em fase de elaboração, definição de etapas nas obras, treinamento das pessoas envolvidas com as obras, implementação de sistemas de reaproveitamento de materiais e a realização de monitoramentos periódicos nos locais das construções.

Dos Santos (2019) *apud* Lordêlo (2007), define as etapas de concepção de projeto como sendo a forma de prever o que será utilizado e quais materiais e ferramentas serão alocados para obra. A compatibilização de projetos é um momento que possibilita a economia, redução de gastos e redução de geração de entulho. Pois, é nesse processo que os pontos de passagens de tubos e fiações são delimitados. Na fase de definição das etapas da obra é remanejado atividades e definição do que será feito em cada etapa da obra. O treinamento de pessoas está ligado à capacitação para desenvolver as atividades sugeridas, a utilização correta dos EPI's (equipamento de proteção individual) e ao manejo e controle com os materiais e ferramentas utilizados.

Já na etapa de implantação de sistemas de reaproveitamento de materiais são realizadas constantes verificações nas obras buscando no entulho, materiais que possam ser reaproveitados, como a madeira que pode ser utilizada para a fabricação de fôrmas e caixarias para o concreto, por exemplo. Não basta apenas incentivar o reaproveitamento, devem ser realizados monitoramentos das obras, caçando por falhas no intuito de corrigi-las e de melhorar o sistema de gerenciamento residual como um todo (CHAVES, 2020).

É importante salientar ainda, segundo Prota (2014), que um sistema de gerenciamento é composto por duas etapas: a etapa primária de acondicionamento inicial e a etapa secundária com o acondicionamento final dos resíduos.

Na Etapa primária, denominada de acondicionamento inicial, os profissionais envolvidos com o gerenciamento de obras precisam realizar uma verificação das atividades que geram resíduos e das fontes geradoras, a fim de acondicionar esses resíduos em locais específicos. Dessa forma, os fluxos de atividades e trabalhos na obra são realizados de forma eficaz, melhorando a circulação das pessoas e evitando acidentes (PROTA, 2014); (LIMA; LIMA, 2009).

Na Etapa secundária, denominada de acondicionamento, por se tratar da remoção e destinação final dos RCC's da obra, é importante verificar as condições do entulho e realizar uma triagem, tratando de forma correta os materiais. É nessa fase que as empresas e os profissionais responsáveis pelas obras, devem permitir ações de reciclagem e reutilização dos materiais. Tudo o que não se pode reutilizar e/ou aproveitar precisa passar pelo processo de triagem para o descarte correto em locais adequados de depósito (PROTA, 2014); (LIMA; LIMA, 2009).

2.5 Utilização do RCC como agregado reciclado para concreto

O concreto é um composto resultante da mistura de aglomerante hidráulico (cimento), agregado miúdo (areia; pó de pedra), agregado graúdo (pedras britas) e água. A mistura de cimento e água forma a pasta de cimento, que contém propriedades mais fluidas, podendo ser trabalhado de diversas formas. Quando adicionado os agregados miúdos e graúdos a principal característica é a alta resistência a forças de compressão, o que possibilita ao concreto ser empregado em diversos tipos de obras (JÚNIOR, 2013).

A utilização de agregados graúdos no concreto é feita através de pedras britadas em tamanhos variados. O processo de obtenção de pedras britadas é um processo de extração de matéria-prima natural, realizada com a explosão de rochas sãs e, posteriormente, na moagem das mesmas. Esse processo acaba por ser bastante prejudicial a natureza, visto que envolve explosões, geração de fumaça e de poeira na atmosfera (ALMEIDA; LUZ, 2009).

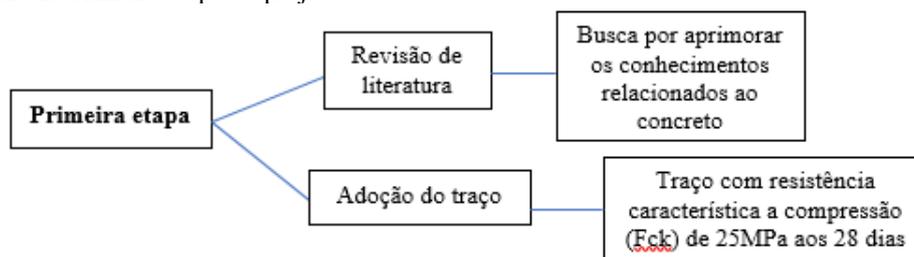
Tendo em vista a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente, a geração de RCC nas obras de engenharia civil é uma questão que deve ser motivada, pois permite o reuso e a reciclagem. Uma forma de reaproveitar o RCC e evitar que seja destinado em locais indevidos, é realizar uma triagem e utilizá-lo em obras de pavimentação, servindo para tratamento de leito e subleitos (SANTOS; SOUZA, 2016).

Outra maneira de gerenciar o RCC de forma sustentável é fazer uma triagem dos materiais contidos no entulho, selecionando materiais não perigosos e não inertes (que não oferecem perigo para à saúde humana e riscos para o meio ambiente), realizar uma moagem desses materiais e usá-los para a fabricação de concreto (TERRA, 2019).

De acordo com Lima (1999), a utilização de agregados provenientes de RCC é uma ótima forma de colaborar com o desenvolvimento sustentável. Os agregados de RCC podem ser utilizados tanto em concreto com função estrutural, quanto para não estrutural, desde que haja uma triagem para a verificação do tipo de RCC que se enquadra, tendo como meta a eliminação de produtos contaminantes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa experimental desse trabalho foi realizado em uma empresa especializada na fabricação e entrega de concreto, em Sinop/MT. Essa pesquisa foi dividida em 4 etapas, descritas abaixo em cada fluxograma.

Figura 1: Primeira etapa do projeto

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

A primeira etapa foi marcada pela revisão de literatura, buscando aprimorar os conhecimentos relacionados ao concreto e a adoção do traço (receita do concreto), sendo utilizado o traço de concreto mais comumente utilizado pela empresa, sendo um concreto com FCK 25MPa (FCK: resistência característica à compressão do concreto; 25Mpa: unidade de medida de força sobre área, resultante em média de 25KN/m²).

Foi definido a utilização do traço na tabela 1 a seguir, devido a disposição de materiais e da disponibilidade de outros testes que a empresa já tinha, fornecendo assim uma maior confiabilidade nos dados coletados.

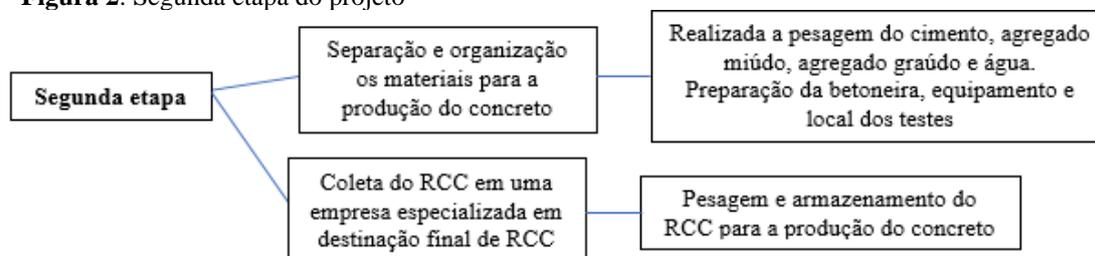
Na tabela 1, a seguir, está descrita as quantidades necessárias para a produção de cerca de 18 litros de concreto, suficientes para a produção de 8 corpos de prova de concreto para serem ensaiados posteriormente.

Tabela 1: Traço de concreto para a fabricação de 18 litros de concreto

Material	Quantidade para 18 litros (kg)
Cimento CP-II F40	8,2
Areia natural	15,2
Pedra brita 0	8,9
Pedra brita 1	3,0
Água	5,0

Fonte: Arquivo pessoal (2020)

Na segunda etapa foram separados e organizados todos os materiais necessários para a fabricação do concreto. Foi nessa etapa que os agregados provenientes de RCC foram providenciados e armazenados até sua utilização. A figura 2, a seguir, demonstra de forma mais objetiva a etapa 2.

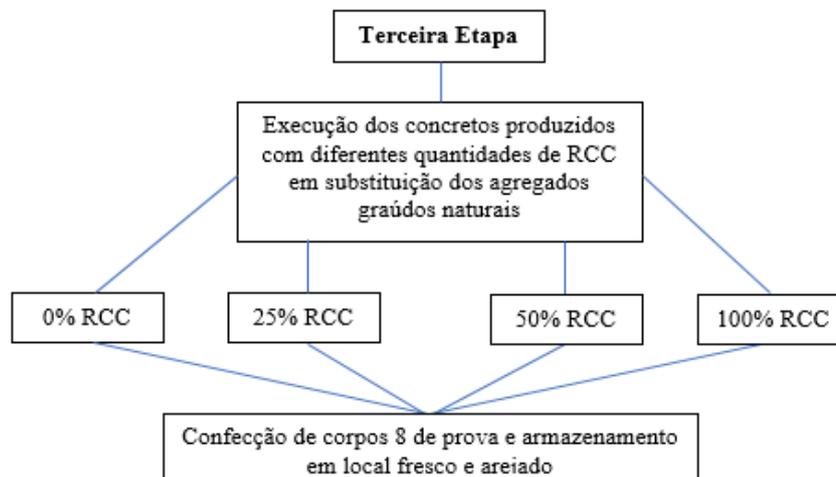
Figura 2: Segunda etapa do projeto

Fonte: Arquivo pessoal (2020)

Na cidade de Sinop/MT existem empresas especializadas na coleta, processamento e destinação final de resíduos da construção civil. Esses empreendimentos possuem depósitos regulamentados e fiscalizados, onde depositam os RCC. Uma dessas empresas disponibilizou o acesso a esses resíduos e forneceu uma quantidade de resíduos, já tratados, para a realização dos testes.

A figura 3, a seguir, demonstra a terceira etapa desse trabalho, que foi marcada pela execução dos testes de fabricação de concreto, substituindo, parcialmente, as quantidades de agregado graúdo natural, por agregados provenientes de RCC.

Figura 3: Terceira etapa do projeto



Fonte: Arquivo pessoal (2020)

A fim de avaliar as resistências do concreto à compressão com diferentes quantidades de RCC na composição, foi definido a produção de 4 betonadas de concreto. Na primeira betonada, foi produzido um concreto com 100% de agregados naturais, no intuito de obter as resistências do traço de concreto em sua forma natural. Na segunda betonada, foi produzido um concreto com 25% de substituição dos agregados naturais por RCC. Na terceira e quarta betonada, foram produzidos concretos com substituição de agregado natural por RCC na ordem de 50% e de 100%, respectivamente.

Para a execução dos testes experimentais, foi definido uma quantidade de 8 corpos de prova para cada teste de substituição de agregado graúdo natural por RCC. Posteriormente, os corpos de prova foram armazenados em um local fresco e arejado, a fim de estabelecer a cura do concreto. Esses corpos de prova ficaram 24 horas descansando e então foi realizada a desmoldagem e armazenagem dos mesmos em um reservatório com água, onde ficaram descansando e realizando a cura até os respectivos dias de ensaio de ruptura.

Desses 8 corpos de prova confeccionados com cada porcentagem de substituição de agregados naturais, por RCC, foram ensaiados 4 corpos de prova com 7 dias de idade e 4 com 28 dias de idade. Para os ensaios de ruptura e verificação das respectivas resistências à compressão do concreto, foi utilizado o sistema de Neoprene (borracha prensada produzida em alta pressão e temperatura) e usado uma prensa hidráulica calibrada de acordo com as normas da ABNT.

A quarta etapa desse trabalho, foi caracterizada pelo processamento dos dados obtidos nas etapas anteriores. Para a determinação das resistências estatisticamente, a fim de comparação, empregou-se equação do desvio padrão (representada na equação 1, a seguir), realizando a somatória das diferenças entre o resultado encontrado pela média geral, elevando esse resultado ao quadrado e descontando o valor de números de ensaio. Por final, extraiu-se a raiz para obter os valores de desvio padrão.

$$S = \sqrt{\sum(fcci - fcm)^2 / (n - 1)} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo:

$fcci$ - o valor das resistências em cada ensaio realizado;

fcm - o valor da média aritmética dos ensaios;

n – o número de ensaios realizados.

Posteriormente, foi feito o cálculo do coeficiente de variação, utilizando a equação 2 a seguir.

$$\delta = \frac{s}{fcm} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:

δ – coeficiente de variação;

s – desvio padrão;

fcm – o valor da média aritmética dos ensaios.

Em seguida, verificou-se a resistência característica calculada do concreto, utilizando a equação 3.

$$fck = fcm * (1 - (1,645 * \delta)) \quad (\text{equação 3})$$

Sendo:

fck - resistência característica do concreto calculada;

fcm - a média aritmética dos resultados obtidos;

δ - o valor do coeficiente de variação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios, os dados foram anotados e foi realizado o tratamento dos mesmos. Para o tratamento dos dados, utilizou-se as equações anteriormente descritas, juntamente com o uso de programas computacionais de tratamento de dados.

Em seguida, foram confeccionadas tabelas com os resultados obtidos dos ensaios de ruptura dos corpos de prova em prensa hidráulica, a fim de verificar as resistências à compressão que eles possuíam.

Em sequência realizou-se as análises e discussões de resultados, utilizando como base as tabelas desenvolvidas para facilitar a compreensão dos dados obtidos.

A tabela 4, a seguir, demonstra os valores de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto produzido com 0% de RCC, 25% de RCC, 50% de RCC e 100% de RCC, em suas respectivas idades de ruptura, 7 e 28 dias.

Tabela 2: Valores obtidos dos testes de resistência a compressão

Resistência a compressão dos ensaios dos corpos de prova de concreto (MPa)					
Quantidade de Substituição de agregado natural por RCC					
Idades (dias)	Amostra	0% RCC	25% RCC	50% RCC	100% RCC
7	1	18,95	22,46	16,83	14,27
	2	19,17	22,70	17,04	15,20
	3	20,54	23,57	17,25	16,22
	4	20,78	24,09	17,94	16,42
28	1	25,85	26,65	22,66	21,48
	2	26,13	27,73	22,83	21,53
	3	26,66	28,05	23,61	21,91
	4	26,71	28,11	23,90	23,30

Fonte: Arquivo pessoal (2020)

Os resultados obtidos das resistências do concreto produzido com 0% de substituição de agregados naturais por RCC, serviram apenas para ter uma base das resistências. Esses resultados são meramente comparativos, ou seja, eles servem para comparar os resultados das resistências com as demais porcentagens de substituição.

As tabelas 3 e 4 a seguir, mostram os resultados obtidos a partir do processamento dos dados da tabela 2, utilizando as equações anteriormente mencionadas. As referidas tabelas referem-se às idades de 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 3: Processamento dos dados na idade de 7 dias

Idade de 7 dias					
Porcentagem de RCC no concreto	Σ somatória das resistências	f_{cm} (MPa)	Desvio padrão	Desvio padrão médio	Coefficiente de variação
0%	79,44	19,86	0,93		0,0470
25%	92,82	23,20	0,76	0,79	0,0327
50%	69,06	17,27	0,48		0,0279
100%	62,12	15,53	0,99		0,0640

Fonte: Arquivo pessoal (2020)

Analisando os resultados, percebe-se que aos 7 dias, as amostras de concreto produzido com 25% de RCC como substituição de agregado natural, apresentaram uma média de resistência à compressão de 23,20MPa. A variação de resistência entre as amostras foi de 1,63MPa.

Nas amostras de 50% e de 100% de RCC como substituição de agregado graúdo, os 7 dias apresentaram resistências médias de 17,27MPa e 15,53 MPa, respectivamente. A diferença de resistência entre as amostras de 50% de RCC foi de 1,11MPa enquanto que as amostras com 100% de RCC apresentaram uma diferença de 2,15MPa.

Tabela 4: Processamento dos dados na idade de 28 dias

Idade de 28 dias					
Porcentagem de RCC no concreto	Σ somatória das resistências	f_{cm} (MPa)	Desvio padrão	Desvio padrão médio	Coefficiente de variação
0%	105,35	26,34	0,42		0,0160
25%	110,54	27,64	0,68	0,64	0,0246
50%	93,00	23,25	0,60		0,0257
100%	88,22	22,06	0,85		0,0386

Fonte: Arquivo pessoal (2020)

Analisando os dados referentes a 28 dias, as amostras com 25% de RCC apresentaram resistência média de 27,64MPa. As amostras de 50% e 100% de RCC apresentaram resistência média de 23,25MPa e 22,06MPa, respectivamente.

A variação de resistência para o concreto com 25% de RCC foi de 1,46MPa, enquanto as variações de resistência de 50% e 100% apresentaram valores respectivos de 1,24MPa e 1,82MPa.

Quando analisado a evolução das resistências de 7 dias para 28 dias, as amostras de 25% de RCC apresentaram uma linha evolutiva média na ordem de 4,44MPa. Já as amostras com 50% e 100% apresentaram uma evolução média de resistência à compressão de 5,98MPa e 6,53MPa, respectivamente.

Analisando as amostras dos testes realizados, percebe-se que as resistências à compressão dos concretos produzidos com RCC, apresentaram resultados significativamente favoráveis para sua utilização. Quando se analisa as porcentagens substituídas de agregado graúdo natural por RCC, verifica-se que as resistências à compressão dos concretos produzidos com 25% de RCC, apresentou valor médio de 23,20MPa em 7 dias e 27,64MPa em 28 dias.

Ambos os resultados foram superiores quando comparados com o concreto produzido com apenas agregados naturais, que apresentaram resistências à compressão médias de 19,86MPa em 7 dias e 26,34MPa em 28 dias.

As amostras de concreto produzido com 50% e 100% de agregado substituído por RCC, apresentaram, aos 7 dias, valores médios de resistência à compressão de 17,27MPa e 15,53MPa respectivamente. Já aos 28 dias, suas resistências médias à compressão foram de 23,25MPa para 50% de RCC e 22,06MPa para 100% de RCC.

Averiguou-se que os resultados das amostras de 50% e 100% de RCC não foram satisfatórios, quando comparados com a resistência dos demais testes para o concreto produzido de forma convencional aos 7 dias.

5. CONCLUSÃO

A preocupação com o desenvolvimento sustentável e com a preservação do meio ambiente é de grande importância levando em consideração as condições ambientais do planeta Terra. Sabe-se que o ramo de construção civil cresce de forma exponencial e com esse desenvolvimento a produção de resíduos sólidos (RCC) também cresce.

As amostras com 25% de RCC, apresentaram resultados satisfatórios. Dos resultados obtidos através das amostras de concreto produzido com diversas porcentagens de substituição de agregado natural por RCC, pode-se concluir que as amostras com 25% de RCC apresentaram os melhores resultados dentre todas as outras amostras, superando inclusive os resultados das amostras de referência (sem aplicação de RCC).

Quando comparados as demais amostras, a proporção de 25% demonstrou um desempenho de até 7,67Mpa, maior que as outras amostras aos 7 dias, e de até 5,58MPa maior que as outras amostras em 28 dias. As amostras com 25% de RCC apresentaram valores de 23,20MPa em 7 dias e 27,64MPa aos 28 dias.

Complemento ainda que, de forma geral, a utilização de RCC como substituição parcial da quantidade de agregado graúdo natural para a fabricação do concreto, torna-se viável e proveitosa quando cruzados os dados das amostras com os benefícios que isso gera para o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Esse tipo de concreto pode ser utilizado para a confecção de produtos como tubos, galerias, bocas de lobo, paver, meio fio; enfim todos os produtos derivados do concreto que não desempenham características estruturais.

Portanto, concluindo os estudos desse projeto, é fundamental o desenvolvimento de técnicas e tecnologias voltadas para o gerenciamento de RCC, buscando reutilizar, reciclar e reduzir a produção de entulho, fato esse que colabora com o desenvolvimento humano sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salvador Luiz M.; LUZ, Adão Benvido. **Manual de Agregados para construção civil**. CETEM-Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004 **Resíduos Sólidos Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT.

ÁVILA, V. M. **Compatibilização de projetos na construção civil: estudo de caso em um edifício residencial multifamiliar**. Monografia apresentada ao curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. 2011.

BRASIL, DORA PINTO; FILHO, JOSÉ GUIMARÃES. **A gestão das obras e a produção dos resíduos da construção civil**, 2020.

CHAVES, Valéria Barbosa et al. **Gerenciamento De Resíduos Da Construção Civil**. Revista Expressão Da Estácio, v. 3, 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Presidente: José Carlos carvalho. Brasília, 2002.

DE PAIVA SILVA, Matheus et al. **A responsabilidade do engenheiro civil perante as legislações de resíduos da construção civil**. Revista Panorâmica online, v. 2, 2019.

DOS SANTOS, Iury Bispo et al. **Redução de resíduos da construção civil associada às boas práticas na engenharia civil**. Revista Panorâmica online, v. 2, 2019.

KAEFER, Luís Fernando. A Evolução do Concreto Armado. **Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos**, [S. l.], p. 1-43. Dezembro, 1998.

KARPINSK, Luisete Andreis. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Edipuacs, 2009.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil**. Revista ENIAC PESQUISA, vol. 3 nº1, 2014.

LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos—Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos –Mestrado, 1999.

LORDÊLO P. M.; EVANGELISTA, P.P.A.; FERRAZ, T. G. A. **Programa de Gestão de Resíduos em Canteiros de Obras: Método, Implantação e Resultados**. ELECS, 2007.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo, 2000.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos, 2016.

PROTA, Lygia. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Revista Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, vol. 21 n° 28, 2014.

SANTOS, Antônio Zeferino dos; SOUSA, Samuel Russi. **Aproveitamento de resíduos da construção civil na produção de concretos para uso em pavimentação de ciclovias**. 2016.

TERRA, Júlia Cristina Alves. Gerenciamento e Utilização de Resíduos da Construção Civil na Produção de Concreto. **Boletim do Gerenciamento**, v. 9, n. 9, p. 27-34, 2019.