



PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO RESÍDUOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

BINHA, Mikaelly de Souza; YAMASATA, Paulo Yuri Marques¹
Prof^a. Me Cristina das Graças Fassina²

Universidade São Francisco

Mikaellybinha@gmail.com; Pauloyamasata14@gmail.com

¹Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

²Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

RESUMO. A construção civil é um setor que gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, sendo esses denominados de Resíduos da Construção Civil, além disso esses resíduos geram grandes impactos ambientais, pois muitas vezes são destinados de forma incorreta. Sendo assim, é de grande importância buscar soluções para esse problema através de métodos para minimizar o descarte desse material. Atualmente há uma falha no gerenciamento de materiais em obras e falta do supervisionamento dos responsáveis técnicos o que é uma das causas do alto índice de desperdício somado a falta de conhecimento técnico da mão de obra, faz com que os materiais sejam utilizados em proporções erradas assim tendo prejuízo na compra de materiais. Esse trabalho tem por objetivo identificar formas de reutilizar os resíduos provenientes da construção civil para a produção de concreto. Os materiais que utilizados foram o cimento CP II – E 32, areia média, brita 1, água e RCCs obtidas de uma usina de reciclagem do Município de Itatiba. Para a realização da parte prática dessa pesquisa foi feita a moldagem de corpos de prova, primeiramente com o concreto normal como referência, e depois testado o mesmo traço com a substituição de algumas porcentagens dos agregados para verificação. Depois da moldagem, os corpos de prova foram submetidos a testes de compressão para verificação da resistência e determinar as possíveis utilizações desse concreto. Em alguns países já é utilizado o concreto reciclado e com esse estudo obteve outras porcentagens de agregado reciclado na mistura da argamassa, assim como novas possibilidades de suas aplicações.

Palavras-chave: Agregados; Concreto reciclado; Reciclagem; Resíduos de Construção.

ABSTRACT. Civil construction is a sector that generates a large amount of solid waste, which are called construction waste, in addition, often generated from solid waste, as they are often generated incorrectly. Therefore, it is of great importance to seek solutions to this problem through methods to minimize the disposal of this material. Currently there is a failure in the management of materials in works and lack of supervision of the technicians in charge, which is one of the causes of the high level of consumption technicians added to the lack of technical knowledge of the workforce, makes the materials used in wrong proportions thus having payment in the purchase of materials. This work aims to identify ways of reusing those from civil construction for concrete production. The materials used CP II were 32, sand, br br, water and average RCC. In order to carry out the practical research part, a molding of specimens was made, initially with the normal test as a reference, then tested with the same trace with the replacement of some percentages of the aggregates for verification. After proof strength tests and determine the possible uses of these concretes. In some countries, the recycler is already used and with this study, other percentages of mortar aggregate recycler were obtained, as well as new possibilities for its applications.

Keywords: *Aggregates; Recycled concrete; Recycling; Construction Waste.*

INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por extrair grande quantidade de materiais da natureza e, conseqüentemente, uma grande geradora de resíduos como resultado do volume de obras que acontecem. A reutilização desses resíduos é de suma importância para o meio ambiente e historicamente ela começou a ocorrer apenas após a Segunda Guerra Mundial.

Os resíduos, ou entulhos, são classificados de diversas formas, já que é formado por diversos tipos de materiais como pisos, concretos, metais, madeira, entre outros e sua classificação também depende da fase da obra em que foram formados. E em muitos casos o entulho é gerado pela má gestão dos materiais o que acarreta o desperdício, além do fato que várias obras são negligenciadas por seus respectivos responsáveis técnicos, ou seja, não há um devido acompanhamento dela gerando uma série de improvisações que podem acarretar o mal uso dos materiais. Há também casos que por falta de conscientização não há a contratação de profissionais especializados para o serviço o que também acarreta problemas de gerenciamento que, na maioria das vezes, são evitáveis.

O descarte inadequado dos resíduos pode gerar sérios problemas para sociedade, sendo eles doenças, poluição, contaminação de água, entre outros (figura 1). Deve-se haver uma conscientização por parte dos responsáveis pela geração deles já que, a reutilização desses materiais pode gerar benefícios ambientais e econômicos para si e para sociedade em geral. Ocorre falhas também em sistemas gestores como prefeituras, pois muitas vezes não tem leis para viabilizar a reciclagem dos entulhos.



Figura 1- descarte inadequado dos resíduos de construção.

FONTE: <https://www.scielo.br/j/ac/a/pHnhNxX6CRGPxn4m6NZq7dd/?format=pdf&lang=pt>

Os materiais principais da construção civil são: madeira, rocha, aço, concreto e solo, sendo o mais antigo deles a madeira, depois surgiu o tijolo cerâmico e começou a ser mais utilizada também a pedra nas construções. Logo surgiu o ferro, como uma opção maleável e resistente, e houve uma grande transformação até ser aplicado como é hoje e sua utilização ajudou na expansão da indústria do aço. O concreto, por ser uma opção também maleável, tem grandes aplicações, pois permite construções maiores devido a sua resistência.

Há uma grande busca por diferentes materiais e técnicas atualmente já que a sociedade busca mais fortemente por alternativas sustentáveis, ou seja, que haja um benefício ambiental e econômico. Em alguns países a reciclagem de RCC e RCD já um mercado bem desenvolvido, enquanto no Brasil ainda não é uma prática comum. Essa prática pode contribuir para diminuir a exploração de recursos naturais no país como florestas e pedreiras e os riscos de contaminação de rios e mares.

Um bom gerenciamento da obra faz grande diferença em seu andamento e na obtenção e administração de seus recursos, a falta de planejamento pode levar não só a atrasos no serviço como também a desperdícios. Mesmo com planejamento ainda existem riscos, mas com uma boa gestão muitos podem ser minimizados. Infelizmente muitas empresas ainda não utilizam nenhum tipo de método para planejar, existem outras que realizam métodos, mas por falta de conhecimento acabam não sendo eficientes ou não acompanham o processo de execução dele. Gerenciar a obra da melhor forma possível pode diminuir significativamente a geração dos resíduos.

A fim de encontrar soluções para o descarte inadequado dos RCCs e RCDs, esse trabalho tem por objetivo identificar formas de reutilizar os resíduos provenientes da construção civil para a produção de concreto.

Inicialmente buscou-se estudar os diferentes tipos de resíduos provenientes da construção civil, como eles podem ser reaproveitados, como se dá seu processo de reciclagem e quais as normas e leis vigentes para esse tipo de ação. Além disso procedeu-se a análise da viabilidade técnica e econômica do custo-benefício da utilização deste material. Para isso foram feitos testes em laboratório para definir resistência e dar uma destinação para o concreto produzido utilizando os RCCs e RCDs em sua composição.

REFERENCIAL TEORICO

O surgimento de um órgão nomeado Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 1981, foi um ponto chave na mudança de tudo que é relacionado ao meio ambiente. Através desse conselho foi definida pela Lei n° 6938/81¹, a Resolução n° 307 de 5 de julho de 2002 que leva em conta a preocupação com a geração de resíduos causada pela construção civil, foram criadas diretrizes com intuito de diminuir os efeitos causados ao meio ambiente.

Classificação dos tipos de resíduos.

No Art. 3° dessa resolução foi classificado os tipos de resíduos:

- Classe A: é composta por resíduos que podem ser reutilizáveis ou transformados em agregados para novas funções de processos construtivos, entre eles podemos citar o concreto em seu estágio final, argamassas e tijolos.
- Classe B: apesar de nessa classe os resíduos também serem reutilizáveis, eles não serão utilizados em processos construtivos, são eles: plásticos, papelão, madeiras, entre outros.
- Classe C: existem materiais nos quais sua reciclagem ainda não é viável economicamente ou ainda não possuem formas de reciclagem, um exemplo é o isopor.

¹ BRASIL. Lei n° 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Brasília, DF, 31 de ago. 1981. Disponível

- Classe D: materiais perigosos vindos de processos construtivos como tintas e solventes, ou contaminados vindo de demolições ou reformas de indústria ou locais com radiação e que sejam perigosos para a saúde.

Os resíduos da construção e demolição (RCD) e resíduos da construção civil (RCC).

Com o passar do tempo essa resolução foi sendo atualizada devido as novas descobertas e tecnologias que surgiram, passando pelas resoluções nº 348/04, nº 431/11, nº 448/12 e pôr fim a nº 469/2015.

Na cidade de Bragança Paulista foi sancionada a Lei 4732/2020 pelo Exmo. Sr. Prefeito Jesus Adib, que define parâmetros de gestão de Resíduos da Construção Civil no município. A classificação dos resíduos do município segue a Resolução do CONAMA nº 348 ou legislações que sobrevierem. A lei também institui um sistema de gerenciamento dos resíduos, para facilitar a destinação correta dos resíduos e estes serão designados conforme a quantidade de volume do material recebido. É possível que seja feita a utilização desses resíduos em obras públicas como em infraestrutura, revestimento de vias (o que atualmente já é feito pelo município), passeios, construções de muros, entre outras aplicações.

Os projetos de gerenciamentos dos RCCs serão elaborados pelos grandes geradores em conjunto com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente com frequência anual e de forma gradual seguindo a consolidação do Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos (SIGOR). Até o momento a exigência de cadastro no SIGOR para aprovação de planta, por parte de construções privadas só está sendo obrigatória para construções com área maior que 500 m² e a emissão do “Habite-se” ou “Alvará de construção”, ficam condicionados a apresentação desse cadastro e plano de gerenciamento de resíduos. Esse plano tem como objetivo a diminuição e destinação adequadas dos resíduos para contribuição ambiental. A figura 2 ilustra os diferentes tipos de classe dos RCC e RCD, com suas principais destinações.



Figura 2 - Classificação dos RCCs e RCDs.

FONTE: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/PEQUENO%20GERADOR%20AMLURB_rev1.pdf

Pode-se dizer que construção civil está diretamente ligada a quantidade de resíduos que é gerada no planeta, sendo um dos maiores e principais motivos desse fenômeno. O motivo para essa grande quantidade de resíduos está relacionado a uma série de erros como a falta de planejamento, falta de acompanhamento necessário pelos responsáveis técnicos, falta de mão de obra qualificada, má qualidade dos materiais, além destes sabe-se que demolições e ampliações também são fatores para a geração dos resíduos. Blocos e argamassa (reboco) compõem a maior parte dos resíduos gerados.

Com as norma e leis vigentes é possível definir a forma correta de gerenciar os resíduos gerados na construção civil, assim como suas classificações e destinações corretas, além de ajudar a descobrir soluções para os possíveis problemas que são causados pelo excesso desses resíduos. Os resíduos de construção possuem um potencial de serem triturados e de certa forma reutilizados em novas funções, esse fator colabora para diminuição da poluição do meio ambiente, redução nos custos da obra e diminuição de retirada de matéria prima da natureza além da não ocupação total dos aterros. Como a construção é um setor que gera uma elevada quantidade de resíduos, estes foram denominados como Resíduos da Construção Civil (RCC). O gerenciamento do RCC deve estar ligado ao controle de destinação final do entulho, e o gerenciamento dos materiais em obra faz uma grande diferença em toda a execução, já que pode trazer uma diminuição de desperdício de materiais e consequentemente gerar uma economia na compra deles além de contribuir com o meio ambiente já que esse material não será mais depositado em qualquer local de forma incorreta.

Visto que a construção civil consome uma quantidade altíssima de recursos naturais do planeta, entende-se que a reciclagem dos resíduos gerados por ela e de suma importância para diminuição do uso do agregado natural e para não poluição proveniente do descarte inadequado dos RCCs e RCDs. Entre as quatro classes e resíduos existentes, os de classe A são os que possuem melhor potencial para serem reaproveitados, além de não apresentarem alto risco, se seguido os procedimentos corretos vigentes na Resolução nº 307/2002 do CONAMA e na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) regidas pela lei 12.305/2010. Os resíduos da classe A são: areia, cerâmica e brita sendo esses materiais os mais utilizados nas obras e os que tem um maior potencial de reciclagem para serem utilizados como agregados, sabendo disso, uma opção para diminuir os danos causados pelo descarte incorreto seria a triagem de materiais dentro dos canteiros de obras para serem mandados para reciclagem, isso ajudaria a ter controle dos materiais que podem ser reutilizados na própria obra o que minimizaria a extração de recursos naturais. Além do fato de que se esse material for consumido na própria obra haverá uma economia com compras de agregados, também faz com que diminua o impacto ambiental causado por eles.

Um fator fundamental na construção civil visando a diminuição de problemas ambientais foi a implementação das usinas de reciclagem de entulhos (UREs), sendo elas de grande ajuda na administração dos resíduos gerados pelas obras. Com a destinação dos entulhos sendo direcionadas às UREs, os RCCs passam por processos previstos na Resolução 307/ 2002 do CONAMA (figura 3), onde são separados todos os resíduos que possuem potencial de serem reaproveitados (no caso resíduos da classe A) de outros tipos de resíduos, estes por sua vez são enviados para locais onde podem ser realizados os procedimentos e forma correta prevista na Resolução do CONAMA. Após a separação dos resíduos, os RCCs de classe A seguem para um processo de britagem determinado pela usina, no qual são transformados em agregados para que posteriormente possam ser reaproveitados de outras maneiras.

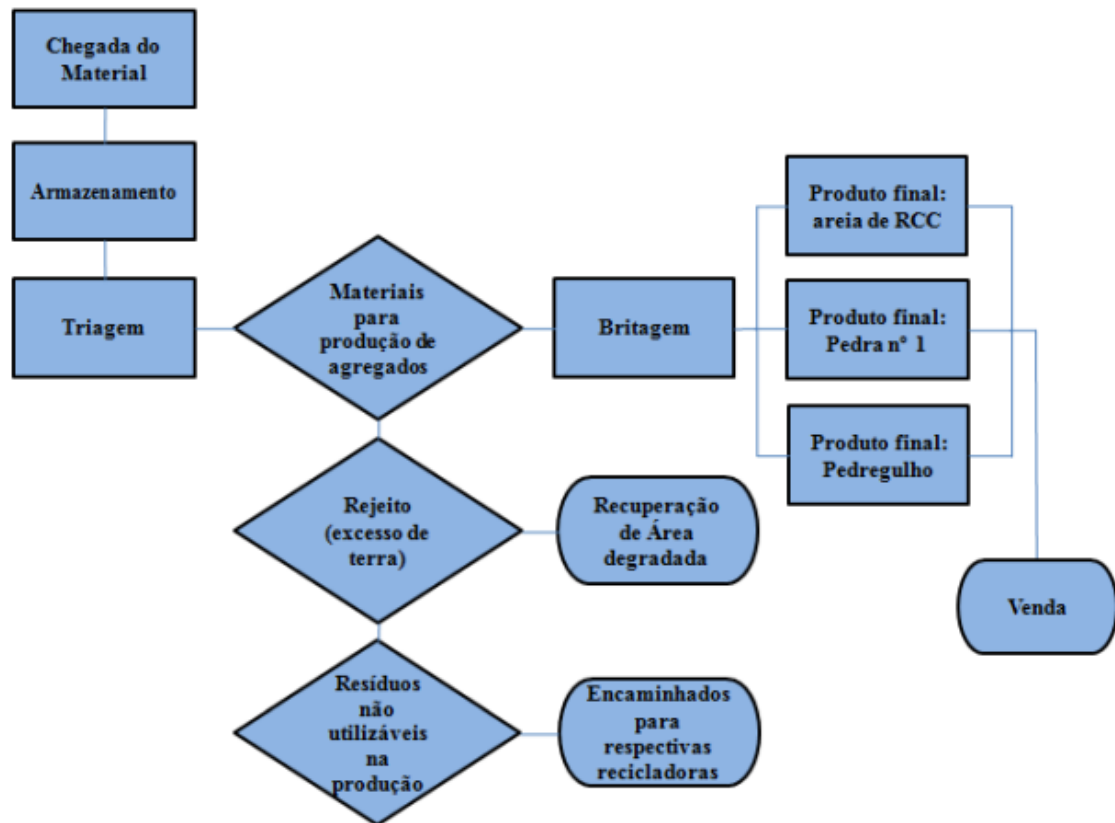


Figura 3 - Processo de reciclagem.

FONTE: <https://pdfs.semanticscholar.org/82e3/d0ca2d413b6b96ba0cec67f727af527437e6.pdf>

Há diversos tipos de utilização para os RCCs, como por exemplo, substituindo agregados em concreto, fabricação de lajotas de vedação, blocos, entre outros (figura 4), porém é necessário que o agregado reciclado cumpra sua função diante a reutilização de forma correta, ou seja, desde que não haja falhas nos produtos obtidos.

Em comparação aos agregados naturais, os agregados reciclados são mais baratos, entretanto o uso em obras ainda não é tão comum devido a confiabilidade do material, por isso é de suma importância saber a procedência dos agregados reciclados da construção civil, pois se vindo de empresas com certificação correta, pode-se utilizá-los de diversas formas. Se for introduzido cada vez mais o uso desse material na construção civil, diminuirá uma porcentagem da extração de recursos naturais, fazendo com que jazidas sejam mais aproveitadas, além de que pode haver uma porcentagem de economia em relação ao valor do agregado natural.

FASES DA OBRA	TIPOS DE RESÍDUOS POSSIVELMENTE GERADOS	POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO NO CANTEIRO	POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO FORA DO CANTEIRO
LIMPEZA DO TERRENO	Solos	Reaterros	Aterros
	Rochas, Vegetação, Galhos	-	-
MONTAGEM DO CANTEIRO	Blocos cerâmicos, concreto (areia, brita)	Base de piso, enchimentos	Fabricação de agregados
FUNDAÇÕES	Solos	Reaterros	Aterros
SUPERESTRUTURA	Concreto, (areia, brita)	Base de piso, enchimentos	Fabricação de agregados
	Madeira	Cercas, portões	Lenha
	Sucatas de ferro, formas plásticas	Reforço para contra-piso	Reciclagem
ALVENARIA	Blocos cerâmicos, blocos de concreto, argamassa	Base de piso, enchimentos, argamassas	Fabricação de agregados
	Papel, plástico	-	Reciclagem
INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	Blocos cerâmicos	Base de piso, enchimentos	Fabricação de agregados
	Pvc, Ppr	-	Reciclagem
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	Blocos cerâmicos	Base de piso, enchimentos	Fabricação de agregados
	Conduites, mangueiras, fio de cobre	-	Reciclagem
REBOCO INTERNO/EXTERNO	Argamassa	Argamassa	Fabricação de agregados
REVESTIMENTOS	Pisos e azulejos cerâmicos	-	Fabricação de agregados
	Piso laminado de madeira, papel, papelão, plástico	-	Reciclagem
FORRO DE GESSO	Placas de gesso acartonado	Readequação em áreas comuns	-
PINTURAS	Tintas, seladoras, vernizes, textura	-	Reciclagem
COBERTURAS	Madeiras	-	Lenha
	Cacos de telhas de fibrocimento	-	-

Figura 4 - Possíveis reutilizações dos RCCs.

FONTE: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/PEQUENO%20GERADOR%20AMLURB_rev1.pdf

O concreto na construção civil.

O concreto é a mistura de agregados com água e cimento, que se torna uma pasta moldável no formato desejado para realização de estruturas. Existem diversas funções para o concreto, por isso existem variados tipos de traços, o traço é a proporção de materiais utilizada em determinada mistura de concreto e muda conforme o uso ao qual será empregado, que deve ser seguido à risca para evitar problemas futuros, atualmente muitas obras de pequeno porte ainda não dão tanta importância a isso, pois há uma tradição construtiva na qual os responsáveis trabalham sempre com o mesmo traço independente da função que o concreto deverá exercer.

Na produção do concreto existem vários fatores fundamentais, nos quais se devem ter um cuidado maior na maneira de realizá-los, o mais importante deles é a relação água/cimento que compõe a massa, pois a quantidade de água a ser utilizada interfere diretamente na resistência à compressão do concreto ao fim de seu processo de endurecimento e na sua durabilidade.

Como apontam Alvarenga e Cruz ²(2018), “A principal propriedade no estado fresco é a trabalhabilidade, enquanto no estado endurecido sobressai-se a resistência à compressão, ambas ligadas diretamente à quantidade de água”.

A dosagem de água/cimento interfere muito na trabalhabilidade e na resistência à compressão que o concreto irá obter, por isso deve-se evitar erros nessa dosagem, pois com excesso de água, pode acarretar em concretos muito fluidos, ou seja, muito mole para que se possa utilizá-lo na finalidade desejada, e posteriormente podem surgir fissuras nas estruturas devido a menor resistência obtida, já os erros quando se utiliza pouca água, o processo das reações do concreto tendem a ficar mais difíceis de acontecer deixando o concreto mais espesso, e conseqüentemente tendo uma menor trabalhabilidade, e podendo também ter sua resistência diminuída devido à falta de adensamento para que haja as reações químicas necessárias.

Aliado a isso tem-se a verificação da cura do concreto, é o último processo, onde é jogada água de forma contínua ou com alguns intervalos sobre o concreto a fim de manter o concreto úmido e é de suma importância para que após seu início de endurecimento, o concreto perca a menor quantidade de água possível devido a evaporação da mesma, minimizando a perda de resistência e possíveis fissuras.

Outro fator importante para um concreto com boa qualidade vem das características dos agregados utilizados, esses agregados são divididos em dois tipos, agregado miúdo e o agregado graúdo.

Há uma grande diversidade de ambos os tipos de agregados, por isso, deve haver uma maior precisão na caracterização da forma de cada agregado, um fator que altera as características do agregado é que, para um mesmo material, podemos encontrar variações já que são produtos naturais, essas características dependem também da forma como são triturados, ou seja, a britagem desse agregado influencia diretamente em qual funcionalidade o mesmo poderá ser utilizado, pois os formatos diferentes alteram a trabalhabilidade da massa e o tipo de utilização.

Tristão³ (2005 apud FIALHO; JANUTHE; PRATA, 2017, p.3) observou que “em estudos realizados com argamassas que as propriedades destas no estado fresco foram alteradas em função da forma do agregado, sendo que quanto mais arredondado e esférico o grão, menor a quantidade de pasta de argamassa, o que implica em menor consumo de aglomerante e de água de emassamento”. E segundo Neville⁴ (1997 apud FIALHO; JANUTHE; PRATA, 2017, p.3) “No caso de agregado miúdo, sua forma e textura superficial tem um efeito significativo sobre a demanda de água de amassamento da mistura, enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente tem um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade do concreto”.

Com ensaio do Slump Test, são obtidos resultados que determinam a qualidade e a trabalhabilidade do concreto, fator fundamental pois assim é possível definir para qual tipo de aplicação ele poderá ser utilizado, ou se ele será descartado (figura 5). O Slump Test deve ser feito em um lugar plano e sem interferências, e importante realizar a limpeza dos instrumentos antes do início do teste, após isso, é então feito o enchimento do cone de metal em três camadas de tamanhos aproximados, cada camada deve ser golpeada 25 vezes com a haste de compactação de modo que sejam distribuídos os golpes uniformemente por toda camada, antes

² CRUZ, Wilton Bernardo da; ALVARENGA, Maria Cláudia Sousa. **Estudo Sobre a Influência do Fator Água Cimento e Diferentes Tipos de Cura na Resistência à Compressão do Concreto**. Rio Paranaíba, MG: Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, p. 1-20

³ TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. 2005.

⁴ NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**; tradução Salvador E. Giammusso. 2ª ed. Pini, São Paulo, 1997.

da retirada do cone é necessário que o excesso de concreto que sobrou acima do cone seja retirado, é então feita a remoção do cone de metal cuidadosamente na direção vertical em um intervalo de tempo de aproximadamente 5 segundos, por fim é feita a medição do abatimento de concreto que é a diferença da altura do cone e o eixo do corpo de prova desmoldado, com valor obtido é possível determinar a provável aplicação do concreto.

Classe	Abatimento (slump em mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Figura 5 - Resultados e aplicações do Slump.

FONTE: <https://nelsoschneider.com.br/slump-test/>

Outro fator de suma importância é a resistência do concreto, e para determiná-la é necessário realizar um ensaio que segue as seguintes normas: a NBR 5738/2015 e posteriormente a NBR 5739/2018, esse ensaio consiste basicamente em romper o concreto para descobrir o valor de sua resistência. Para os ensaios as dimensões dos corpos de prova devem possuir a altura duas vezes maior que o diâmetro e antes de despejar o concreto fresco, deve-se revesti-los com óleo para facilitar o processo de desmolde, o processo de enchimento varia conforme o valor do ensaio de abatimento realizado anteriormente. Os corpos de prova devem ser colocados durante as primeiras 24 horas em local plano e protegido de qualquer tipo de interferência mecânica ou intempéries que possam movimentar o concreto, após essas 24 horas devem ser desmoldados e armazenados em um local úmido ou submersos em água até o dia de seu rompimento, esse tempo geralmente é de 3, 7, 14 e 28 dias. Nos dias de rompimento deve posicioná-lo entre discos de Neoprene, para que a aplicação de forças da prensa eletrônica seja uniformemente distribuída pela superfície dele até que ocorra o rompimento, apontando assim a resistência que aquele concreto possui.


METODOLOGIA

A pesquisa tem como objetivo apresentar os procedimentos realizados no laboratório de Materiais da Construção Civil da Universidade São Francisco de Bragança Paulista, com intuito de comparar se o concreto produzido com substituição de parte do agregado graúdo (brita1) por 10%, 20% e 30% de agregados oriundos de RCCs e RCDs, possuem resistência à compressão satisfatória em relação ao concreto convencional. Como foi definido 3 porcentagens diferentes, então será realizado 4 tipos de corpos de prova, para que posteriormente possam ser rompidos, o corpo de prova com concreto convencional e os 3 com as porcentagens de agregado.

Primeiramente foi necessário definir o traço do concreto utilizado, sendo eles: 1; 0,5; 0,75; 0,6 (tabela 1 e figura 6) com intuito de que esse traço atingisse a resistência de 30 MPa.

Tabela 1 – Traço utilizado na produção do concreto convencional.

MATERIAL	QUANTIDADE ESTIPULADA	QUANTIDADE UTILIZADA
Cimento CP II - E - 32	6,0 kg	15 kg
Areia (umidade 4%)	3,0 kg	7,8 kg

		
Brita 1	4,5 kg	11,25 kg
Água	3,6 L	6,1 L

FONTE: Próprio autor



Figura 6 – materiais do traço convencional.

FONTE: Próprio autor

Para a realização da moldagem dos corpos de prova foram utilizados uma betoneira, 9 moldes a balança para definir o volume de materiais e os equipamentos necessários para realização do Slump Test.

Após a mistura pronta, fizemos o Slump Test, utilizando os equipamentos prescritos pela norma NBR 16889:2020 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (figura 7). Importante salientar que foi realizada a limpeza em todos os instrumentos antes do início do teste.

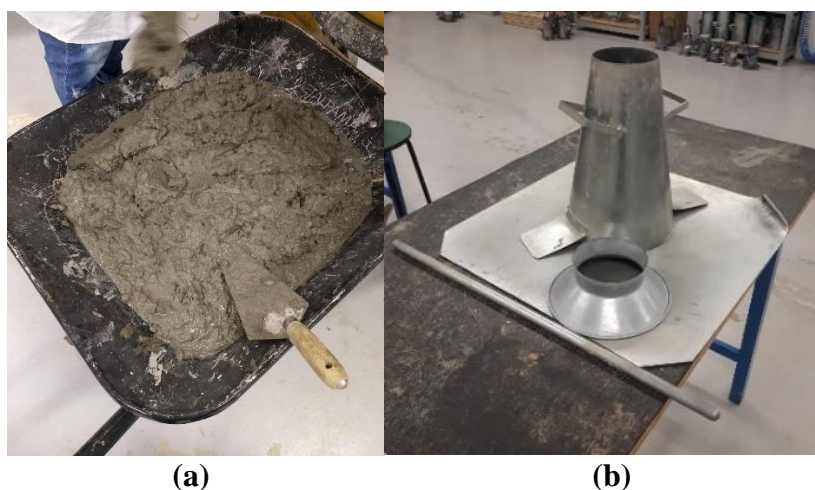


Figura 7 – (a) mistura pronta; (b) equipamentos Slump Test (tronco de cone).

FONTE: Próprio autor

O teste foi realizado em local plano e sem interferências, o enchimento foi separado em 3 camadas de tamanhos aproximados e a cada camada foi aplicada 25 golpes com a haste de

adensamento, os golpes foram de maneira uniforme por toda a camada, foi então retirado o excesso de concreto presente na superfície do cone e feita a remoção do mesmo em um intervalo de aproximadamente 5 segundos;

A medição do Slump foi feita virando o cone e medindo a diferença presente entre a altura do cone e o eixo do concreto desmoldado. No presente teste obtemos o valor de aproximadamente 15,5 cm como ilustrado na figura 8.



Figura 8 – medição do Slump Test.

FONTE: Próprio autor

A partir disso fizemos o molde dos 9 corpos de prova seguido a NBR 5738:2015 versão corrigida: 2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;

Foi utilizado o molde cilíndrico de 10x20 cm, nos quais utilizamos óleo mineral para lubrificar seu interior afim de facilitar o processo de desmolde;

O processo de moldagem passa por 2 etapas, primeiro é despejado concreto até a metade do molde e então golpeado 12 vezes por toda superfície da camada com a haste de adensamento, e por fim despejado concreto até a borda e repetido os 12 golpes por toda a camada. Foi golpeado a face externa do molde para que possíveis vazios fossem preenchidos (figura 9).

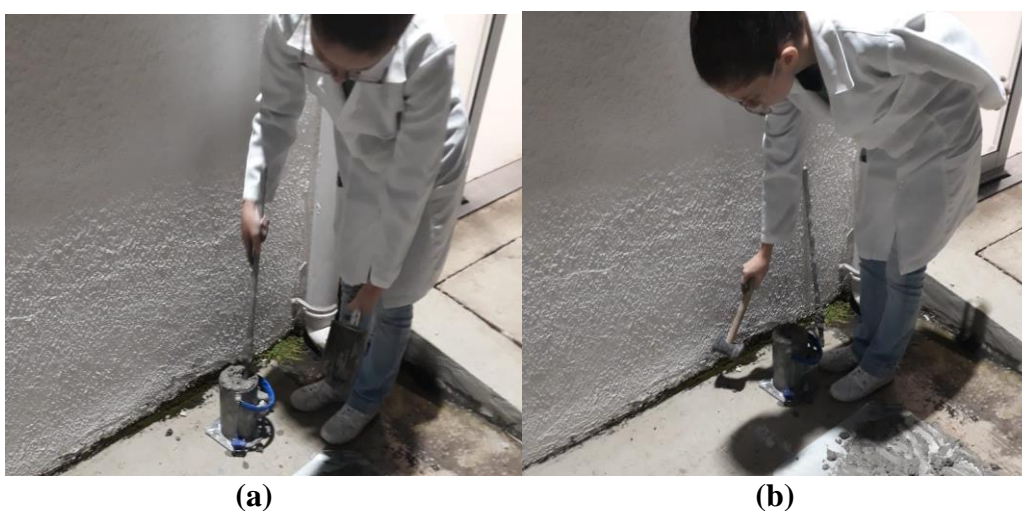


Figura 9 – moldagem dos corpos de prova. (a) adensamento; (b) regularização da superfície.

FONTE: Próprio autor

Por fim os corpos de provas já moldados forma colocados em um lugar plano e não

houvesse nenhum tipo de vibração, por aproximadamente 24 horas até serem desmoldados.

Após 24 horas foi feito o desmolde dos corpos de prova, e posteriormente os mesmos foram colocados submersos em água (figura 10), para dar continuidade ao processo de cura do concreto.

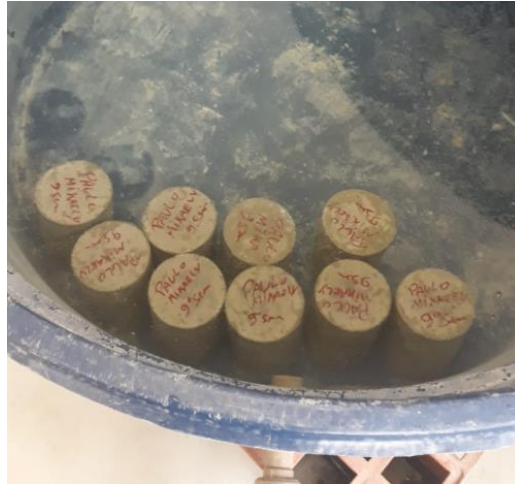


Figura 10 – corpos de prova submersos em água.

FONTE: Próprio autor

Para a realização do concreto com os RCCs foi necessário a obtenção dos mesmos por meio de uma usina de reciclagem no caso a URI usina de reciclagem de RCC de Itatiba. Esses resíduos contêm certos materiais como telhas, blocos cerâmicos, argamassa, azulejos (figura 11).



Figura 11 – componentes do RCC.

FONTE: Próprio autor

Como os resíduos coletados da usina não estavam todos exatamente na granulometria necessária para a realização dos traços, foi necessário também um processo de granulometria afim de separar os componentes no tamanho ideal, ou seja, tiveram que ser peneirados para que

chegassem a granulometria correspondente da brita1, que varia de 9,5mm à 19mm (figura 12).



Figura 12 – malha de 19mm usada no processo de granulometria.

FONTE: Próprio autor

Foi utilizado exatamente o mesmo traço de concreto nos laboratórios seguintes, com a diferença de substituir a porcentagem de brita por RCCs (tabela 2).

Tabela 2 – Quantificação de materiais nos traços com RCCs.

PORCENTAGEM	CIMENTO CP-II	AREIA	ÁGUA	BRITA 1	RCCS
10%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	10,125 kg	1,125 kg
20%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	9,0 kg	2,25 kg
30%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	7,875 kg	3,375 kg

FONTE: Próprio autor

A partir da produção dos corpos de provas deve ser realizados os testes de resistência a compressão nos quais foram escolhidos romper os quatro traços produzidos com 7, 14 e 28 dias após o início do seu processo de cura submerso.

Como foram produzidos 9 corpos de prova de cada traço (figura 13), foi realizado o rompimento de 3 corpos de prova por vez nos dias que iríamos romper no laboratório da Universidade São Francisco, para o rompimento foi utilizando uma máquina de ensaios de resistência a compressão.



Figura 13 – corpos de prova após a moldagem.

FONTE: Próprio autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Slump Test

Com a realização do Slump Test em cada traço obtivemos os seguintes resultados (tabela 3).

Tabela 3 – Valores obtidos do Slump Test em centímetros.

SEM RCCS	10%	20%	30%
15,50	20,95	20,60	15,10

FONTE: Próprio autor

Com esses valores utiliza-se a figura 4 deste artigo para definir possíveis aplicações para cada um dos traços realizados, sendo então definido que os traços do concreto convencional e com substituição de 30% de RCCs pertencem a classe S100 e podem ser utilizados em casos onde o lançamento do concreto é feito de maneira convencional, ou seja, utilizando carrinho de mão, baldes, entre outros, suas possíveis utilizações são em elementos estruturais como vigas, lajes, pisos. Já nos casos de 10% e 20% é possível verificar que o valor foi maior, ou seja, pertencem a classe S160, o que resulta em um lançamento bombeado do concreto, pois é um concreto mais fluido, suas utilizações são as mesmas citadas anteriormente, porém um exemplo que pode ser adicionado é uma parede diafragma.

Posteriormente com os resultados que foram obtidos através do rompimento dos corpos de provas, é possível ver que até 30% de substituição não há uma alteração tão significativa nos valores (tabela 4, tabela 5 e tabela 6).

Resistência à compressão.

Tabela 4 – Resistência dos corpos de prova com 7 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
#	18,70 MPa	20,09 MPa	17,10 MPa
15,26 MPa	22,38 MPa	22,34 MPa	17,24 MPa
14,74 MPa	16,31 MPa	16,77 MPa	14,11 MPa

FONTE: Próprio autor

Houve problemas técnicos no rompimento do cp1 do concreto convencional, o que alterou muito o valor da resistência, sendo assim desconsiderado.

Tabela 5 – Resistência dos corpos de prova com 14 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
#	24,10 MPa	29,44 MPa	20,05 MPa
19,49 MPa	21,35 MPa	21,68 MPa	22,04 MPa
21,85 MPa	26,68 MPa	23,70 MPa	20,80 MPa

FONTE: Próprio autor

Houve problemas técnicos no rompimento do cp1 do concreto convencional, o que alterou muito o valor da resistência, sendo assim desconsiderado.

Tabela 6 – Resistência dos corpos de prova com 28 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
26,61 MPa	28,87 MPa	29,21 MPa	24,3 MPa
27,65 MPa	30,11 MPa	33,43 MPa	19,96 MPa
30,16 MPa	35,29 MPa	25,76 MPa	29,53 MPa

FONTE: Próprio autor

Com isso conclui-se que os traços realizados com 10% e 20% obtiveram resistência superior ao realizado de forma convencional, com resistências médias de 31,42 MPa, sendo 11,66% maior e 29,45 MPa sendo 4,66% maior respectivamente.

Um fator interessante é que no rompimento dos corpos de prova com 30% e idade de 7 e 14 dias eles resultaram em valores maiores que o concreto convencional com o mesmo período, porém a resistência média final com 28 dias, caiu cerca de 12,56% resultando em um valor de 24,6 MPa. Com os resultados maiores nos 2 primeiros rompimentos era esperado que ao fim dos 28 dias os resultados também seriam maiores, mas houve uma variação muito grande nos valores das resistências dos 3 corpos de provas obtidos sendo eles de 19,96 MPa, 24,3MPa e 29,53 MPa, com isso é possível ver por que ao realizar a taxa de variância o traço contendo 30% de RCCs foi o único que não obteve dados homogêneos (gráfico 1).

Diante dos resultados de resistência a compressão obtidos foi feita a média ponderada entre eles e calculado o desvio padrão (tabela 7).

Tabela 7 – Valores de desvio padrão obtido das amostras.

IDADE DO CP	SEM RCCS	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
7 dias	0,26	2,496	2,288	1,443
14 dias	1,18	2,176	3,287	0,820
28 dias	1,49	2,78	3,137	3,913

FONTE: Próprio autor

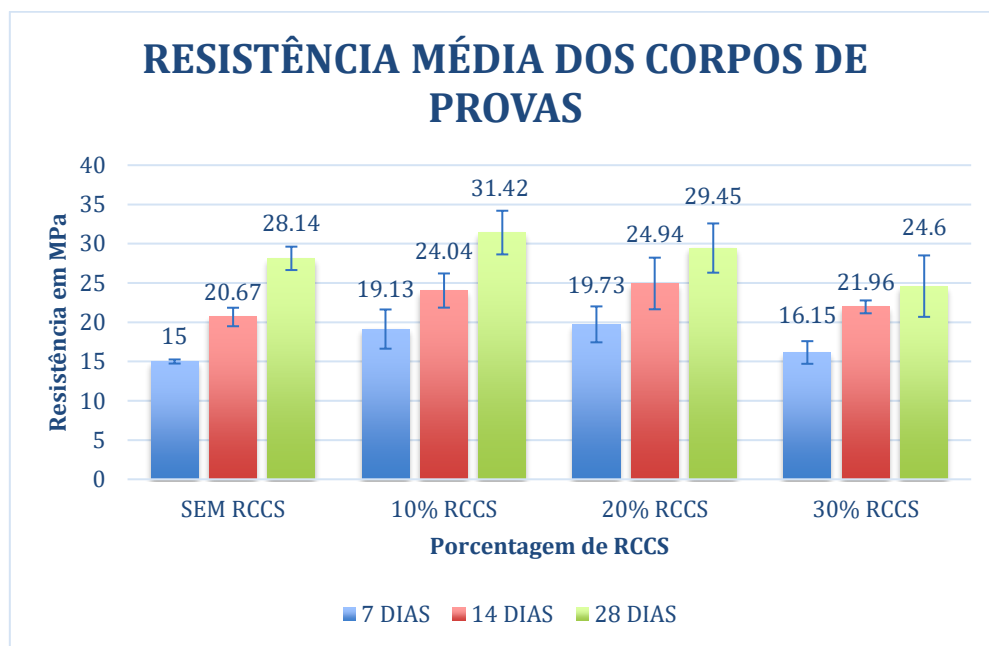


Gráfico 1 – Resistência média do concreto e desvio padrão.

FONTE: Próprio autor

É possível ainda ver a taxa de variação que compõem os agregados, utilizando a seguinte formula (tabela 8).

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} * 100$$

Tabela 8 – Valores de taxa de variância obtido das amostras em porcentagem.

IDADE DO CP	SEM RCCS	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
7 dias	1,73	13,05	11,59	8,94
14 dias	5,71	9,05	13,18	3,91
28 dias	5,29	8,84	10,64	15,91

FONTE: Próprio autor

Foi visto que o traço que possuía 30% de RCCs com idade de 28 dias foi o único que

ultrapassou 15% da taxa de variância, o que demonstra que é um caso que é considerado, mesmo que por pouco, que há uma média dispersão do agregado e com isso considerar que todos os outros possuem uma baixa dispersão, ou seja possuem dados mais homogêneos.

Absorção de água dos agregados

Quanto maior a incorporação dos RCCs na mistura, ela se torna aparentemente mais seca, o que levou a realizar um breve teste de absorção de água, a fim de comprovar a trabalhabilidade do concreto. Realizou-se um teste bem simples e mais visual, para efeito de comparação entre os tipos de agregados, no qual foi utilizado 500 gramas de RCCs (figura 14) e 500 gramas de brita em dois recipientes iguais separadamente, imersos em 500 mililitros de água e deixados por 1 hora.



Figura 14 - RCCs que foi imerso em água
 FONTE: Próprio autor



Figura 15 - Resultados obtidos da absorção (a) teste com brita1; (b) teste com RCCs.
 Fonte: Próprio autor

Com os resultados é possível ver que em aproximadamente 1 hora os RCCs absorveram mais água do que a brita, enquanto a brita absorveu aproximadamente 10ml, os RCCs absorveram quase 50ml (figura 15), o que reafirma a menor trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, pois quanto maior a quantidade de RCCs, maior a absorção de água da mistura.

Comparação de custos

Buscou-se comparar os valores gastos no concreto convencional e no realizado com RCCs, foi estipulado que o traço fosse feito com 1 saco de cimento de 50kg, com isso foi necessário 25kg de areia, 37,5 kg de brita para a realização do concreto convencional.

- Saco de cimento Cp II E 32: 34,00 reais
- Saco de areia 20kg: 6,70 reais
- Saco de brita 1 20kg: 8,30 reais

Dadas as proporções o valor seria 8,38 reais para os 25kg de areia e 15,56 reais para os 37,5kg de brita, totalizando 57,94 reais

Usando o mesmo traço só que substituindo 30% do agregado graúdo, o valor seria de 53,27 reais, isso porque o RCCs foi disponibilizado de forma gratuita pela usina de reciclagem URI de Itatiba.

CONCLUSÃO

Devido ao Brasil ser um grande gerador de RCCs e RCDs e conseqüentemente parte desses resíduos são descartados incorretamente, e com a temática de sustentabilidade entendemos que esses resíduos devem ser mais bem aproveitados de diversas maneiras, nesse artigo em específico se torna possível a utilização dos mesmos em formas de agregado graúdo na produção de concreto.

Conclui-se que os corpos de prova compostos de 10% e 20% de RCCs, obtiveram um aumento de 11,7% e 4,7% respectivamente em sua resistência à compressão, porém o traço composto por 30% obteve uma leve queda de 12,6% em sua resistência, porém mantendo uma resistência aceitável. Com isso, para alguns tipos específicos de construções como por exemplo pisos, processos estruturais nos quais não há necessidade de altas resistências, lajes, teoricamente é viável a utilização desse tipo de concreto, visto que ao ser analisado as diferenças entre o concreto convencional e os com os resíduos de construção civil não houve diferença significativa entre a resistência obtida, claro com esse traço utilizado.

Deve-se ter em mente que esses resíduos de construção civil devem ser oriundos de empresas certificadas, pois ainda há uma variação muito grande de componentes na totalidade desses resíduos como por exemplo telhas, blocos cerâmicos, gesso, entre outros e essas empresas realizam processos que permitem minimizar a quantidade de impurezas e resíduos muito distintos, pois com uma variedade tão grande desses componentes acaba tornando os resultados mais inconsistentes.

Sugere-se que uma nova pesquisa seja realizada futuramente com o mesmo traço só que com a utilização de aditivos para que possa verificar melhor se os possíveis valores seriam superiores a ponto de que novas funcionalidades desse concreto possam ser utilizadas, além de se possível também o aumento da porcentagem de RCCS, visto que se espera que com o uso dos aditivos a resistência seja maior.

Outra sugestão para trabalhos futuros seja feita a realização de ensaios de absorção de água nos resíduos de acordo com normas técnicas, afim de verificar o quanto impacta na resistência final do concreto.



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de cursar universidade e nos permitir obter conhecimento necessário para a conclusão de mais uma etapa de nossas vidas.

Ao nossos pais por sempre nos apoiar para a realização dos nossos objetivos.

A Universidade São Francisco, pela oportunidade de fazer o curso e pela disponibilização dos laboratórios, além de fornecer materiais e equipamentos para a realização das pesquisas.

A minha orientadora professora mestra Cristina da Graças Fassina, pela disponibilidade de tempo para correções e explicações, que foram de grande importância para o andamento das pesquisas, execuções dos testes e desenvolvimento do artigo.

A professora mestra Cândida Maria Costa Baptista por ministrar as aulas que permitiu melhor entendimento sobre o desenvolvimento do artigo além do tempo empregado na revisão do nosso artigo.

A Usina de reciclagem de resíduos de construção civil de Itatiba (URI), por fornecer os materiais reciclados de forma gratuita, a fim de colaborar com a pesquisa.

A todos os outros professores da Universidade São Francisco que fizeram parte dessa longa jornada universitária, nos ensinando tudo o que é necessário para se tornar um bom profissional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2020. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: procedimento.** Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. 9p.

BRAGANÇA PAULISTA. **Lei nº 4.732, de 26 de junho de 2020.** Institui o Sistema para a Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações, e dá outras providências. Publicado na Imprensa Oficial em 29 de junho de 2020, págs. 1- 8.

CRUZ, Wilton Bernardo da; ALVARENGA, Maria Cláudia Sousa. **Estudo Sobre a Influência do Fator Água Cimento e Diferentes Tipos de Cura na Resistência à Compressão do Concreto.** Rio Paranaíba, MG: Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, p. 1-20

DESTRO, Patrícia Gomes; PINTO, Diego Henrique; SOUZA, Elen Karina de. **tratamento de resíduos da construção civil no entorno de Bragança Paulista.** Centro Universitário Amparense, Amparo – SP, p.1 - 11, 2016.



FRASSON, Sueli Aparecida. **Usinas de reciclagem de entulho como agentes na valoração dos resíduos gerados pela Construção civil.** XIX Engema: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. dez. 2017. 17 p.

GIDRÃO, Salmen Saleme; SANTOS, Antônio Carlos Dos. **Ensaio à compressão do concreto – Dispersão de resultados.** Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia. p. 63-77.

JANUTHE, Mariana; PRATA, Wilger Christ de Almeida; FIALHO, Poline Fernandes. **Caracterização de agregados miúdos por análise de imagem.** Vitória, ES: Faculdade Brasileira – Multivix Vitória, p. 1-3, 2017.

MOURA, Guilherme Ribeiro de; JUNIOR, Waldir Silva Soares. **Transformações e Tendências na História da Engenharia Civil: Do Trabalho Manual à Sustentabilidade.** Maringá, PR: UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar. p. 1-8.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto;** tradução Salvador E. Giammusso. 2ª ed. Pini, São Paulo, 1997.

PAULA, Lucas Vieira Quintino de. **Resistência Característica à Compressão do Concreto.** Argamassa, revista das engenharias, arquitetura e urbanismo, geografia, gestão, decisões e memórias. Campo Grande, v. 1, n. 003, p. 6-23, dez 2018.

PINTO, Gilberto Júnior Ferreira; MELO, Eusileide Suianne Rodrigues Lopes de; NOTARO, Krystal de Alcantara. **Geração de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Métodos de Cálculo.** VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande – PB. Pg. 1-5. novembro de 2016.

PORTO, Maria Edelma Henrique de Carvalho; SILVA, Simone Vasconcelos. **Reaproveitamento dos Entulhos de Concreto na construção de Casas Populares.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL de engenharia de produção, Rio de Janeiro, p 1-12, out. 2008.

SERINOLLI, Gustavo Perpetuo. **Resíduos da construção civil: O novo olhar para a reciclagem.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXXI, Nº. 000205, 15/03/2021. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/residuos-da-construcao-civil-o-novo-olhar-para-reciclagem>. Acesso em: 18 abr. 2022.

SILVA, Welighda Christia da; SANTOS, Gilmar Oliveira; ARAÚJO, Weliton Eduardo Lima de. **Resíduos Sólidos da Construção Civil: Caracterização, Alternativas de Reuso e Retorno Econômico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis– SC, v.6, n.2, p. 286-301, julho/setembro de 2017.

SOUZA, Ioneide Nunes Carvalho. **Impactos causados pelos resíduos procedentes da construção civil e demolição: Uma análise conceitual dos procedimentos para minimizá-los.** Porto Nacional, TO: Instituto Tocantinense Antônio Carlos Porto Ltda. [2017]. p. 1-13.

TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 2005.