

ANÁLISE COMPARATIVA DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM ÁGUA POTÁVEL E COM REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL NA CIDADE DE SINOP/MT

RICARDO DE MOURA¹
PAULA JANAINA SOUZA FARTO²

RESUMO: No mundo inteiro existe a preocupação com recursos naturais escassos, como madeira, minérios e principalmente a água. A água é o recurso mais valioso para a vida no planeta Terra, pois ela é vital para os seres humanos, animais e plantas. Atualmente, vem-se desenvolvendo estudos sobre a reutilização da água de diversas fontes, inclusive a da chuva. No Brasil, faz-se a reutilização de água pluvial para o consumo humano, em regiões onde esse recurso natural se torna de difícil acesso em períodos de estiagem. Países mais desenvolvidos como, Japão, Estados Unidos e China á fazem o uso de técnicas de reaproveitamento de água para a fabricação de produtos, e também para o consumo humano. A coleta da água geralmente é feita a partir de áreas impermeáveis, como telhados. Deve-se descartar os primeiros litros a fim de eliminar a maior parte dos contaminantes contidos nas telhas e na água. Na fabricação do concreto, o uso de água é indispensável, pois, é ela que juntamente com o cimento, realizam as reações químicas necessárias para o enrijecimento do concreto. A pesquisa resume-se na avaliação comparativa das resistências mecânicas a compressão dos corpos de prova, moldados com concreto feito com água potável e com água reutilizada da chuva. Ambos os concretos tiveram resistências na faixa de 28MPa aos 28 dias, porém o concreto produzido com água pluvial deve ser utilizado para funções não estruturais, devido as impurezas contidas na água.

PALAVRAS-CHAVE: Água da chuva; Concreto; Resistência a compressão; Reutilização de água.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESISTANCES OF THE CONCRETE PRODUCED WITH DRINKABLE WATER AND REUTILIZAÇÃO OF PLUVIAL WATER

ABSTRACT: Throughout the world there is concern about scarce natural resources, such as wood, minerals and especially water. Water is the most valuable resource for life on planet Earth, as it is vital for humans, animals and plants. Studies on the reuse of water from various sources, including rain, are currently being developed. In Brazil, rainwater is reused for human consumption, in regions where this natural resource becomes difficult to access in periods of relay. More developed countries such as Japan, the United States and China make use of water reuse techniques for the manufacture of products, as well as for human consumption. Water collection is usually done from waterproof areas, such as roofs. The first litres should be discarded in order to eliminate most of the contaminants contained in tiles and water. In the manufacture of concrete, the use of water is indispensable, because it is it that together with the cement, perform the chemical reactions necessary for the enrichment of the concrete. The research is summarized in the comparative evaluation of the mechanical resistances to compression of the test bodies, molded with concrete made with drinking water and with water reused from the rain. Both materials had resistance in the 28MPa range at 28 days, but the concrete produced with rainwater should be used for non-structural functions, due to the impurities contained in the water.

KEY-WORDS: Concrete; Resistance to compression; water reuse; Water of the rain.

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

² Professora do Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: paulajanaina_engcivil@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O concreto é fundamental para o desenvolvimento humano e, segundo Carvalho (2008), é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, já que sua composição é formada por materiais facilmente encontrados na natureza.

Desde sua criação até a atualidade, o concreto tem um amplo desenvolvimento na sua forma de uso, características, propriedades, qualidade e desempenho estrutural. Um fator importante que favoreceu esse grande desenvolvimento do concreto ocorre devido à sua vasta aplicabilidade, podendo ser empregado em objetos decorativos e em diversas obras, como pontes, prédios, viadutos e edificações em geral.

Um ingrediente principal do concreto é a água, é ela quem atua diretamente com o cimento para a formação da pasta. Tal recurso é visto atualmente por muitos estudiosos como um bem finito e escassos em muitos países e regiões. Portanto, medidas de preservação da água precisam ser tomadas tanto por meio do reaproveitamento, quanto pelo aproveitamento de água pluvial, visando a sustentabilidade deste recurso imprescindível a vida.

Embora, existe uma vasta aplicação de sistemas de aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis em residências e empresas, ainda existe uma carência de estudos visando o uso da água da chuva na construção civil. O ramo civil utiliza-se da água potável para o preparo de argamassas e concreto, e geralmente essa fonte é oriunda do sistema público de abastecimento. Sendo assim, a possibilidade de uso da água da chuva na construção civil, especificamente para uso no concreto, mostra-se uma forma sustentável e barata na obtenção e consumo de água.

A água é um bem natural de todos os seres vivos do planeta terra e é fundamental para a vida. Analisando essa afirmativa, busca-se meios alternativos para o consumo consciente desse recurso de maneira sustentável e equilibrada.

Na construção civil, a utilização ocorre de maneira ampla, abrangendo serviços simples como a lavagem de ferramentas e serviços mais elaborados, como a produção de concreto. A água utilizada no ramo da construção civil, muitas vezes é desperdiçada e consumida de forma inconsciente, afetando negativamente na sustentabilidade com o planeta Terra.

Pensando no consumo impróprio e inconsciente da água na construção civil, busca-se desenvolver formas e alternativas de reutilização das águas, tanto do sistema de abastecimento local, quanto utilizar ferramentas e meio para usar as águas pluviais. Visto que a água é um recurso escasso, reutilizar será uma forma sustentável e consciente de consumi-la.

Reutilizar as águas pluviais é uma forma de contribuir com o meio ambiente e reduzir o consumo, tornando-o consciente. Na região Mato-grossense, mais especificamente na cidade de Sinop, as chuvas são sazonais durante alguns meses do ano (geralmente entre novembro e março), mas que podem ocorrer também, em diversos meses onde ela não é prevista (entre abril e outubro).

Mostra-se de grande importância o estudo e a procura por melhor entender as características dos componentes do concreto separadamente, pois, avaliando suas características individuais, espera-se que o composto seja de melhor qualidade.

A partir desses estudos, existe a possibilidade de analisar alternativas de componentes para o concreto, como é o caso da possível substituição da água potável pela água pluvial. Vale ressaltar ainda, que, perante a variabilidade das necessidades de uma estrutura, cada projeto poderá ser suprido por um concreto específico a sua situação, pois, cada obra possui características diferentes que devem ser supridas pelos atributos do concreto.

Com o pensamento de reutilização da água, é possível reutilizar a água da chuva para a fabricação de concreto? A resistência do concreto produzido com esse tipo de água é

satisfatória? Comparando o concreto produzido com água potável e o produzido com água pluvial, há muitas discrepâncias no quesito resistência a compressão?

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a viabilidade da utilização de águas pluviais no preparo do concreto, mediante a comparação da resistência a compressão obtida dos ensaios com os corpos de prova confeccionados com água potável e com a água pluvial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O desenvolvimento humano com as construções

Nos primórdios, o ser humano era nômade e não tinha moradia determinada. Isso acontecia devido vários fatores, como: fatores climáticos, escassez de alimentos, períodos de mudança de estação que afetava diretamente a produção local de alimentos, migração dos animais, entre outros (BORGES; TACHIBANA, 2005).

À medida que o tempo passava, o homem passou a se adaptar as condições climáticas, aprendeu a cultivar à terra e viver em apenas um lugar, tornando-se sedentário. Com essa evolução, a humanidade começou a povoar locais perto de rios e formar as primeiras civilizações, plantando e colhendo alimentos, criando animais e desenvolvendo suas construções com uso de madeira, fibra, folhas e barro. Com o passar dos anos, as técnicas construtivas precisaram evoluir para vencer obstáculos maiores, como, por exemplo a construção de uma ponte de tronco de árvore para atravessar um rio (MATEUS; BRAGANÇA, 2006).

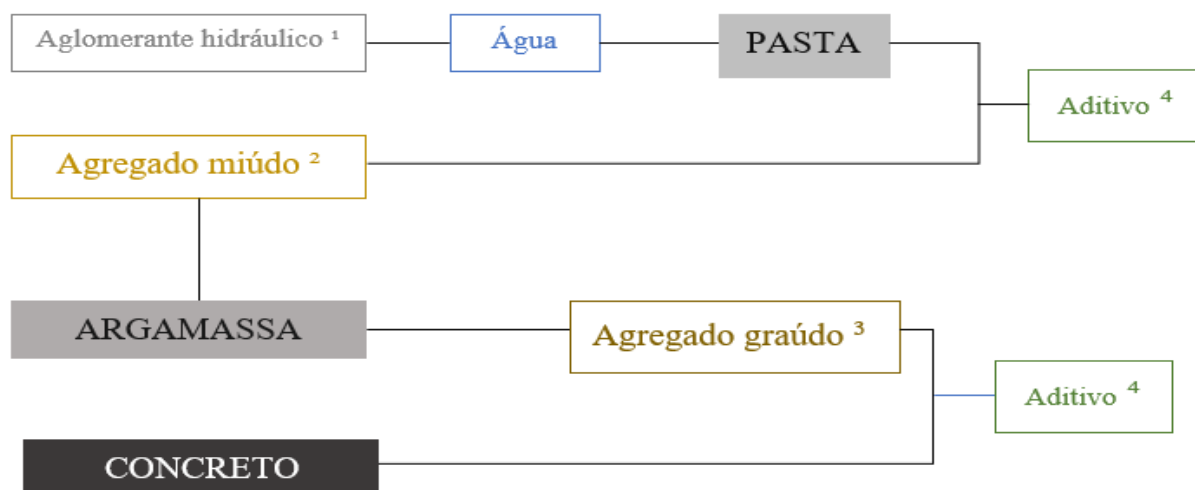
Na atualidade, a busca por aprimoramentos e aperfeiçoamento é constante no ser humano e para suas tecnologias. Em todos os países do mundo, é possível perceber as maravilhas da evolução da ciência como um todo, e, no que se refere a engenharia, nota-se uma tendência em grandes, complexas e desafiadoras construções.

Exemplos disso, são pontes que atravessam os rios e mares (Ponte do Rio Niterói e ponte Hong Kong-Zhuhai-Macao), os prédios construídos em ilhas artificiais (Burj Khalifa), monumentos históricos (Taj Mahal, Cristo Redentor, Torre Eiffel), barragens e usinas hidrelétricas (usina de Itaipu e usina de Belo Monte) (HELENE, 2010).

2.2 Concreto e sua composição

O concreto é um composto derivado da mistura de cimento, água, areia e pedra. A figura 1 a seguir, exemplifica a composição do concreto, sendo a mistura de água com aglomerante hidráulico (1 - cimento) forma a pasta de cimento e essa pasta misturada com agregado miúdo (2 - areias e fíler), forma a argamassa e essa argamassa misturada com agregado graúdo (3 - pedra brita), forma o concreto. Ainda é possível acrescentar nessa mistura os aditivos (4 – aditivos) que promovem melhorias no concreto (JÚNIOR, 2013).

Figura 1: Componentes do concreto



Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

2.2.1 Cimento *Portland*

Segundo Battagin (2009), o nome “Cimento Portland” é dado ao produto obtido pela mistura de argila e calcário, com possíveis adições de outros materiais como sílicas, aluminas e materiais com teor de óxido de ferro. Esses materiais são misturados e levados a fornos para que a queima seja realizada de forma controlada, até a formação do clínquer.

Os Clínqueres são esferas rígidas originados da queima de matérias em temperatura controlada, onde as reações químicas dos componentes estão acontecendo. Essas esferas possuem um diâmetro que varia entre 3 e 25mm e possuem uma coloração acinzentada, devido às cores de seus componentes (BAUER, 1995), nesse contexto, a figura 2 mostra como são os clínqueres.

Figura 2: Clínquer: matéria prima do cimento Portland



Fonte: ECivil descomplicando a engenharia (2016)

Cada cimento possui características únicas que provêm de sua fabricação, onde, no processo de formação do clínquer, podem ser feitas adições de materiais visando alguma característica específica, como, por exemplo, resistência aos materiais corrosivos (HELENE; ANDRADE, 2010).

Para Neville e Brooks (2013), em todo processo de fabricação do cimento, os cuidados com a temperatura são rigorosos, de modo a manter a qualidade final do produto. Reações químicas não desejadas e/ou recombinação dos compostos químicos da argila e do calcário, podem ocorrer quando expostos a temperaturas mais elevadas do que a temperatura do clínquer.

O processo de esfriamento também é importante que seja controlado, pois, não é interessante que o clínquer esfrie rápido demais porque existem reações químicas que necessitam de tempo para que ocorram. A moagem do clínquer deve ser feita de forma a garantir

que as partículas do cimento não fiquem finas demais ou grossas demais, pois, isto influencia diretamente na resistência característica do material (NEVILLE; BROOKS, 2016).

2.2.2. Agregados miúdos e graúdos

Os materiais granulares, sejam miúdos ou graúdos, que são utilizados na engenharia civil em diversas aplicações, são em sua maioria originados de rochas mães que foram se degradando e formando partículas cada vez menores. Com o passar do tempo, essas partículas se desprendem das rochas devido ao intemperismo físico-químico. Os agentes de transformação que podem ser citados são: vento, água, chuva, relâmpagos, ação humana, de animais e plantas (ALMEIDA; LUZ, 2009).

A utilização de agregados no concreto, é feita para preencher os índices de vazios que ficam entre o cimento e a água, proporcionando assim, melhor desempenho do produto. Os exemplos mais comuns que se pode citar de agregado miúdo é a areia e de agregado graúdo é a pedra brita (NEVILLE; BROOKS, 2016).

A diferenciação de um agregado graúdo para um agregado miúdo, segundo a Associação de Normas técnicas (ABNT), é feita pelo teste de composição granulométrica do material, com resultados obtidos da relação de porcentagem do material retido na peneira com o volume inicial (ABNT NBR 248, 2003). Esse teste é realizado em laboratório e consiste em coletar uma amostra de material (conforme estabelece NBR NM 26, 2009), colocá-lo em uma série de peneiras (como determina a NBR NM ISO 3310-1, 1997), empilhadas de forma decrescente em relação a sua abertura para a passagem dos grãos e realizar a peneiramento (de acordo com a ABNT NBR NM 248, 2003).

De acordo com a ABNT (NBR 7211, 2009), entende-se por agregado graúdo, o “pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm”. Já, o agregado miúdo é um material obtido da britagem de rochas maiores, que seus grãos têm sua granulometria menor que 4,8mm e maior que 0,075mm. Existem na atualidade, empresas especializadas na britagem de rochas e fornecem esses materiais em grande abundância para as empresas.

2.2.3 Adições especiais

No contexto de produção de concreto, é possível fazer adições, tanto na fase de fabricação do cimento quanto no preparo do concreto, de produtos que melhoram as características do concreto. No âmbito da fabricação do cimento, busca-se melhorar as características de aceleração de pega, resistência a agentes exteriores e melhorar resistência, adicionando na fabricação do clínquer, a pozolana, a escória de alto forno e o fíler (NEVILLE; BROOKS, 2013).

De acordo com Neville e Brooks (2016), pozolana é um material pulverulento natural ou artificial rico em minerais que reagem quimicamente com a água e os outros componentes do concreto. A escória de alto forno é um resíduo não metálico coletado dos fornos que produzem o ferro guza (guza é o nome que se dá a fusão do minério de ferro com calcário, utilizando carvão), que reage quimicamente com os constituintes do concreto. Já, o fíler é derivado da moagem de calcário e/ou outros materiais, de forma que possua uma granulometria superfina que auxilia no preenchimento dos vazios entre os componentes do concreto.

Na produção do concreto, é possível fazer adição de outros produtos denominados “Aditivos” que por sua vez, agem quimicamente com a água e o cimento, alterando as propriedades do concreto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possui uma Norma Regulamentadora Brasileira (NBR), de número 11768 (2011), que apresenta os tipos de aditivos que podem ser utilizados para melhorar as características do concreto. Conforme

exposto no (quadro 1), é possível observar os tipos de aditivos, denominados com a sigla que determinam sua especificação.

Quadro 1: Tipos de aditivos

TIPOS DE ADITIVOS	ESPECIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
P	Aditivo Plastificante	possibilitam a redução de água no concreto
R	Aditivo retardador	possibilita retardar o início de pega do concreto em algumas horas
A	Aditivo acelerador	possibilita que o início do tempo de pega do concreto, seja antecipado
PR	Aditivo plastificante retardador	possibilita um menor consumo de água e que a pega seja atrasada
PA	Aditivo plastificante acelerador	possibilita menor consumo de água e o processo de cura é antecipado
IAR	Aditivo incorporador de ar	possibilita aumentar a plasticidade e reduzem a permeabilidade
SP	Aditivo superplastificante	possibilita uma maior redução de água no concreto
SPR	Aditivo superplastificante retardador	possibilita uma maior redução de água no concreto e aumenta o tempo de pega do concreto
SPA	Aditivo superplastificante acelerador retardador	possibilita uma maior redução de água no concreto e reduz o tempo de pega do concreto

Fonte: Adaptado da NBR 11768 (1992).

2.2.4 Água para concreto

A água é um dos componentes básicos para a produção do concreto e tem papel relevante nas características do produto. Em excesso, provoca patologias como a exsudação (acúmulo de água na superfície do concreto) e pode causar a segregação dos agregados. E no caso, de falta de água, afeta a trabalhabilidade e consistência (NEVILLE; BROOKS, 2016).

Ainda sobre a água, Neville e Brooks (2016) comentam que a água atua na pega (processo inicial de endurecimento do concreto), na hidratação, resistência mecânica, resistividade elétrica, erosão, ruptura, corrosão da armadura em concretos armados, fluidez em concreto auto adensáveis, entre outros.

A composição química da água utilizada no concreto, deve atender algumas especificações, como não possuir cheiro, cor, sabor e/ou adições que possam influenciar na qualidade do concreto (ABNT NBR 15900-1, 2009).

2.2.5 Reutilização de água

A água é um recurso natural, escasso e essencial para a vida. Tendo isso em mente, deve-se ater a utilização de artifícios de reutilização de água, obtendo como vantagem, a redução de desperdícios hídricos, garantindo a preservação e consumo consciente (MOTA, 2006).

A reutilização de água é uma técnica utilizada a milhares de anos, para garantir o uso adequado e a exploração de um bem comum de forma consciente. De acordo com Luz (2005), a reutilização de recursos hídricos, eliminação de desperdícios e reaproveitamento de águas pluviais, geram economia para o utilitário, pois minimiza os gastos com a utilização da água das centrais de distribuição.

De acordo com Giacchini e Filho (2008), as águas provenientes de chuvas podem ser utilizadas de diversas formas, sendo elas para uso nobre como a ingestão ou usos secundários como, por exemplo, a limpeza e outras utilizações indiretas. Essa reutilização secundária é bastante utilizada para fins não potáveis, como, por exemplo, irrigação, limpeza e descarga sanitária.

A forma mais comumente utilizada para a captação de águas pluviais é feita por meio da superfície dos telhados, pois, é feita de forma mais simplificada que a captação da água do solo e ainda se aproveita a inclinação das telhas para escoar a água até os recipientes de armazenamento (ZERBINATTI, *et al*, 2011).

2.3 Utilização do concreto com água pluvial

A reutilização de água é um artifício utilizado para minimizar os impactos do uso inadequado de água potável, reduzindo assim os riscos com o meio ambiente. Porém, é preciso entender que para reutilizar a água de forma correta, é necessário que ela seja captada, armazenada e tratada se necessário. Na fabricação do concreto, utiliza-se grandes quantidades de água para reagir quimicamente com o cimento. Para amenizar o desperdício hídrico, uma alternativa é utilizar a água das chuvas. Em regiões onde o período de chuvas é mais frequente, é uma ótima solução para economizar água (OLIVEIRA, *et al*, 2016).

A reutilização de água pode ser feita para a confecção de concreto, desde que seja tratada ou que não possua resíduos e/ou elementos que afetem a qualidade do produto. Para reutilizar as águas pluviais em concreto, deve-se salientar que esse produto não tenha relação direta com o desempenho estrutural, para não ocorrer patologias como corrosão de armaduras, infiltração, deslocamento, dentre outras (LIMA *et al*, 2018).

Essa água pode ser utilizada para a fabricação de alguns artefatos de concreto, desde que não possuam desempenho estrutural considerado essencial, como o paver (peças pré-fabricadas geralmente utilizadas para pavimentação de calçadas), meio-fio de ruas e avenidas (peças pré-fabricadas de concreto que servem para dar limite entre a via de pedestre e via de veículos), paralelepípedo (são peças pré-fabricadas de concreto utilizadas na pavimentação de calçadas e ruas) e tampa de captador de água pluvial conhecido como boca de lobo, entre outros componentes. (OLIVEIRA, *et al*, 2016).

2.4 Pega e cura do concreto

Para que o processo de endurecimento ocorra, o concreto precisa passar por reações químicas entre o cimento e a água. Essas reações químicas liberam calor, fazendo com que a água da mistura evapore, sendo necessário fazer a reposição dessa água. Depois de algum tempo, o concreto entra no estado conhecido como pega, onde começa a endurecer e a ganhar resistência (NEVILLE; BROOKS, 2016).

Depois que o concreto passa pelo estado de pega, a mistura endurece e ganha resistência, nesse momento o concreto entra em um processo chamado de cura. A cura do concreto consiste em auxiliar o processo de enrijecimento, repondo a água que a mistura perde naturalmente pelos processos químicos. Realizar o processo de cura corretamente previne patologias como fissuração, escamação e rachaduras (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.5 Concreto no estado fresco

Dentre as fases do concreto, é na fase fresca que o concreto apresenta características de trabalhabilidade e maleabilidade. Nesse estado fresco, é possível verificar características visíveis como a moleza, maciez, fácil aplicação e adensamento. No estado fresco o concreto ainda não apresenta características de resistência, pois, os processos químicos entre a água e cimento ainda estão ocorrendo (NEVILLE; BROOKS, 2016).

O concreto que é utilizado de modo geral na construção civil, apresenta peculiaridades que devem ser atenciosamente cuidadas, tanto em seu estado fresco, onde os processos químicos entre os materiais de sua composição estão acontecendo, quanto em seu estado endurecido, no qual todos os processos químicos já ocorreram e tem-se um concreto rígido. Em seu estado fresco, o concreto tem sua consistência pastosa e é possível usá-lo de diversas formas e seu transporte é feito de maneira simples sem necessidade de grandes máquinas para levá-lo de um lugar a outro (COSTA, 2016).

Neville e Brooks (2013), apontam as seguintes características do concreto fresco: trabalhabilidade, consistência e plasticidade. Nesse caso, a trabalhabilidade determina a facilidade de manusear o concreto para realizar o trabalho desejado, a consistência proporciona ao concreto a facilidade de trabalho sem que os elementos da mistura se separem, a plasticidade do concreto está ligada à facilidade do concreto ser moldado e não se romper a medida em que o tempo passa.

2.6 Concreto no estado endurecido

Após ser feita a combinação da água com o cimento, os processos químicos começam a acontecer e a cura se inicia. A cura é o procedimento de secagem do concreto que precisa ser controlada para que o concreto em seu estado final, seja de boa qualidade, e atenda as características desejadas. É na fase endurecida que o concreto apresenta uma alta rigidez, elevado módulo de elasticidade e baixa capacidade de deformação (BERGMANN, 2016).

Para que um bom concreto seja desenvolvido e que suas características sejam atendidas, todos os materiais constituintes devem ser analisados e estudados com intuito de se obter um excelente traço de concreto. As características de compressão, viabilidade técnica, rigidez, módulo de elasticidade e aderência devem ser levados em consideração no ato da produção do concreto. Caso algum tipo de anomalia aconteça em algumas das fases do concreto, é a etapa endurecida que será afetada (NEVILLE; BROOKS, 2013).

2.7 Resistência à compressão

Uma das características importantes do concreto, é sua elevada resistência mecânica a compressão, podendo chegar a altos índices, dependendo da sua composição e dos cuidados com os processos de cura. Nessa avaliação, o autor Helene (2010), estima que a resistência à tração do concreto seja inferior a 10% da resistência à compressão.

Para verificar a resistência à compressão, de acordo com a NBR 5739 (2016), deve-se realizar o ensaio de ruptura de corpo de prova, que serve para determinar a resistência mecânica à compressão que o concreto ensaiado possui. Todo concreto produzido que se deseja ensaiar, deve ser moldado corpos de prova com idades diferentes de ruptura. Geralmente a ruptura é feita com 7, 14 e 28 dias, podendo fazer o ensaio com 24 horas e com 3 dias, dependendo da necessidade do projeto. Para realizar esse ensaio, necessita-se de uma prensa hidráulica normatizada pela ABNT NBR NM-ISO 7500 – 1 (2004) e corpos de prova com idade suficiente para o teste.

Os corpos de prova devem ser mantidos em câmara úmida até o dia de realizar o ensaio de ruptura, visando melhorar o processo de cura. Dado a respectiva idade para a ruptura do corpo de prova, o operador da prensa hidráulica posiciona o corpo de prova na máquina e inicia o ensaio realizando a compressão do corpo de prova. Quando ocorre a quebra/rachadura do objeto ensaiado, a prensa hidráulica automaticamente para de aferir a medição e apresenta o valor da resistência no leitor (ABNT NBR 5739, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As pesquisas realizadas para o desenvolvimento desse trabalho, foram realizadas de forma a buscar conhecimento em bibliografias diversas, como, livros, revistas científicas, artigos científicos e periódicos online. Ambas bibliografias voltadas para os conhecimentos relacionados a utilização, reutilização e uso sustentável da água.

Com esse estudo, foi possível desenvolver um material científico, apresentando todos os dados obtidos de forma experimental, desenvolvida com o auxílio de equipamentos de laboratório e com auxílio de programas auxiliares de processamento de dados.

O desenvolver dos ensaios experimentais foram feitos no município de Sinop no estado do Mato Grosso, mais precisamente nas dependências de uma empresa especializada na confecção e execução de projetos de obras residenciais. Esse estudo buscou analisar a utilização de água pluvial para a fabricação de concreto não estrutural, verificando a viabilidade de produção de artefatos de concreto que podem ser utilizados nos detalhes finais de uma obra.

A coleta da água pluvial foi feita em um período de chuva do estado do Mato Grosso. Foi montado um sistema de coleta de água que contém: estrutura de telhado com telha de zinco com inclinação até o reservatório; reservatório de plástico com vinte litros de capacidade de armazenamento; tampa com vedação para evitar contaminação.

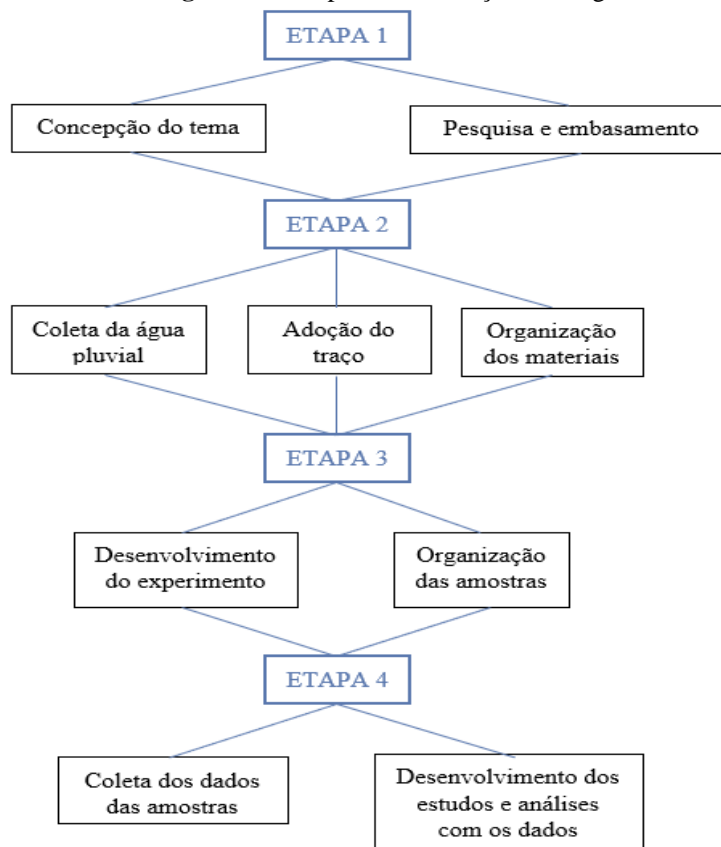
Essa coleta foi realizada quando havia precipitação de água no local, por algumas horas seguidas. Essa coleta basicamente foi realizada de forma em que a água precipitava no telhado e escoava até um reservatório que foi vedado após a coleta d'água. Já, a água potável foi feita sua coleta mediante a confecção do concreto, visto que essa água é de fácil acesso devido o fornecimento do sistema de abastecimento de água local.

O traço de concreto usado, foi o traço comumente utilizado no cotidiano das obras da empresa. A utilização desse traço foi designada para verificação das resistências quando produzido o concreto com água potável e com água pluvial.

Para cada tipo de água, foi produzido um tipo de concreto, afim de comparar as resistências a compressão que cada concreto possuirá. Em ambos os tipos de água, foi utilizado o mesmo traço de concreto, utilizando os mesmos materiais e as mesmas formas de produção.

Tendo em mente a preservação meio ambiente, redução de desperdícios hídricos e na preservação do solo e lençóis freáticos, esse trabalho buscou avaliar uma alternativa de uso sustentável e/ou reaproveitamento das águas das chuvas. Afim de apresentar um conteúdo de fácil compreensão, este trabalho foi dividido em 4 etapas que serão apresentadas em modelo do fluxograma 1 a seguir.

Fluxograma 1: Etapas da elaboração do artigo



Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

3.1 Determinação do traço e das amostras

Para desenvolver dos concretos, foi utilizado um traço de concreto comumente utilizado no cotidiano da empresa, nesse caso um traço de concreto Fck 25. Foi decidido utilizar esse traço pois é um traço em que há muitas obras que foram realizadas com essa receita. Esse traço possui adição de cimento, areia natural, areia artificial, brita zero, brita um e aditivo plastificante, como mostrado no quadro abaixo.

Quadro 1: Traço de concreto que foi utilizado

Material	Quantidade (kg/m ³)	Quantidade (kg/18 litros)
Cimento CP-II F40	360	6,48
Areia Artificial	485	8,73
Pedra Brita 0	508	9,14
Pedra Brita 1	208	3,74
Areia Natural	590	10,62
Água Limpa	242	4,35
Água de reutilização	242	4,35
Aditivo Plastificante	3,2	0,058

Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

Como foram utilizados dois tipos de águas diferentes, foram confeccionados dois concretos com o mesmo traço (receita). Para cada tipo de água, foram necessários o desenvolvimento de 18 litros de concreto, suficientes para moldagem de todos os corpos de prova necessários para o desenvolvimento do experimento.

O primeiro concreto desenvolvido foi produzido com água potável, disponibilizada pelo sistema de abastecimento local. O segundo concreto desenvolvido, foi o produzido com água pluvial, previamente coletada e armazenada em local fresco e arejado.

Para cada concreto produzido, com cada tipo de água, foram moldados 9 corpos de prova (quantidade ideal para 18 litros de concreto) para serem ensaiados posteriormente. Cada corpo de prova tem a dimensão de 20cm de altura e 10cm de diâmetro, medidas essas que são da forma utilizada para moldagem dos mesmos.

3.2 Tratamento das amostras

Com todos os recursos e materiais em mãos, foram pesados e separados os materiais para fazer o concreto. Logo após, foram levados até a betoneira e realizado a mistura. A massa misturará na betoneira por 5 minutos, garantindo que o concreto esteja homogêneo.

Posteriormente, foram moldados 9 corpos de prova para cada tipo de água utilizada em cada tipo de concreto. Os corpos de prova ficaram dentro de um reservatório em um container com temperatura entre 20° e 28° Celsius. Esse armazenamento tem finalidade de secagem do concreto por 24 horas, suficientes para ser feita a desmoldagem (retirada do corpo de prova do molde) e armazenado em um reservatório com água para que o concreto inicie seu processo de cura em condição ideal.

Os corpos de prova de cada tipo de água foram ensaiados 3 com 3 dias, 3 com 7 dias e 3 com 28 dias. O ensaio consiste na ruptura dos corpos de prova por meio de uma prensa hidráulica padronizada pela ABNT. Esses corpos de prova são colocados na prensa e é inserido carga de compressão afim de verificar sua resistência em momentos antes de sua ruptura total.

Apos os ensaios, foram feita a coleta dos dados de ruptura e foi realizado a análise do dados, comparando as resistências dos concretos produzidos com os diferentes tipos de água. Foram confeccionados tabelas com os resultados das comparações e feitas anotações para apresentação dos dados. A quarta e última etapa do trabalho, consiste no tratamento dos dados e elaboração de tabelas para comparação dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para dar sequência no trabalho, foram desenvolvidas as tabelas 1, 2 e 3 a seguir, contendo em cada uma, os detalhes dos resultados obtidos com as rupturas dos corpos de prova produzidos com água potável e com água pluvial. A tabela 1 apresenta os dados das rupturas referentes há 3 dias de cura dos concretos. As tabelas 2 e 3 apresentam os dados obtidos em 7 dias de cura dos concretos e 28 dias de cura dos concretos, respectivamente.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de resistências dos corpos de prova com 3 dias de idade

Tipo de água	Dados das rupturas com 3 dias		
	Amostras	Fck obtido na ruptura (MPa)	Fck médio (MPa)
Água potável	1	11,64	11,82
	2	11,88	
	3	11,94	
Água pluvial	1	10,90	11,00
	2	10,98	
	3	11,12	

Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

De acordo com os dados da tabela 1, é possível perceber que os corpos de prova produzidos com água potável tiveram uma pequena variação em suas resistências. Houve uma variação de 0,3MPa entre as amostras de menor e maior valor, dos corpos de prova de concreto feito com água potável. Já nas amostras de menor e maior valor de concreto produzido com água pluvial, a variação foi de 0,22MPa.

É possível perceber que também houve uma variação entre as resistências médias calculadas, para o concreto produzido com água potável a média foi de 11,82MPa e para o concreto produzido com água pluvial a média foi de 11MPa. A diferença entre as médias foi de 0,82MPa.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de resistências dos corpos de prova com 7 dias de idade

Tipo de água	Dados das rupturas com 7 dias		
	Amostras	Fck obtido na ruptura (MPa)	Fck médio (MPa)
Água potável	1	16,77	16,98
	2	17,08	
	3	17,10	
Água pluvial	1	16,32	16,42
	2	16,47	
	3	16,48	

Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

Analisando a tabela 2, observa-se uma diferença de 0,33MPa entre o maior e o menor valor para o concreto com água potável, enquanto a diferença foi de 0,16MPa para o concreto com água pluvial.

A resistência média calculada do concreto com água potável foi de 16,98MPa e de 16,42MPa para o concreto com água pluvial. Essa diferença gerou uma variação de 0,56MPa para as resistências médias.

Pode-se observar ainda, uma evolução considerativa entre os 3 e 7 dias de idade de ruptura dos corpos de prova de ambos os tipos de concreto. O primeiro caso, de concreto produzido com água potável, houve uma evolução média de 5,16MPa, enquanto a evolução foi de 5,42MPa para o concreto produzido com água pluvial.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de resistências dos corpos de prova com 28 dias de idade

Tipo de água	Dados das rupturas com 28 dias		
	Amostras	Fck obtido na ruptura (MPa)	Fck médio (MPa)
Água potável	1	28,82	28,91
	2	28,89	
	3	29,02	
Água pluvial	1	27,64	28,25
	2	28,17	
	3	28,93	

Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

Analisando a tabela 3, observa-se uma diferença de 0,20MPa entre o maior e o menor valor para o concreto com água potável, enquanto a diferença foi de 1,29MPa para o concreto com água pluvial.

A resistência média calculada do concreto com água potável foi de 28,91MPa e de 28,25MPa para o concreto com água pluvial. Essa diferença gerou uma variação de 0,66MPa para as resistências médias.

Existe uma evolução entre os 3 e 28 dias de idade de ruptura dos corpos de prova de ambos os tipos de concreto. A evolução foi de 17,09MPa para o concreto feito com água potável e de 17,25MPa para o concreto com água pluvial.

Pode-se observar ainda, uma evolução considerativa entre os 7 e os 28 dias de idade de ruptura dos corpos de prova de ambos os tipos de concreto. O primeiro caso, de concreto produzido com água potável, houve uma evolução média de 11,93MPa, enquanto a evolução foi de 11,83MPa para o concreto produzido com água pluvial.

5. CONCLUSÃO

Nas condições atuais do planeta, em que o desmatamento está descontrolado, a emissão de gases poluentes está instável e a poluição do meio ambiente é um fator comum na sociedade, aprender a respeitar, reaproveitar e reutilizar a água, é um grande avanço para a vida humana.

Neste trabalho foi possível realizar um estudo de caso, no qual foi utilizado a água da chuva para a produção de concreto. Após a verificação e análise dos dados, pode-se concluir que a reutilização da água traz grandes benefícios ao desenvolvimento humano sustentável, visto que as resistências não tiveram diferenças tão significativas a ponto de desaprovar essa ideia. Aos 28 dias, ambos os concretos apresentaram suas resistências médias a compressão acima de 28MPa, sendo esse um resultado acima do esperado que era de 25MPa.

A água da chuva tem grandes vantagens de ser utilizada para diversas atividades domésticas e ainda pode ser utilizada para produção de concreto desde que este não possua significância estrutural, pois a água da chuva contém contaminantes, como CO₂, ácidos diversos, impurezas do sistema de captação, e outros possíveis materiais contaminantes que podem comprometer toda uma estrutura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salvador Luiz M. de; LUZ, Adão Benvindo da. **MANUAL DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. 245 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento de concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO7500 – 1: Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – calibração e verificação do sistema de medição de força.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISSO 3310-1: Peneiras de ensaio -Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BATTAGIN, A. F. Uma Breve História do Cimento Portland. Associação Brasileira

BAUER, L.A Falcão. **Materiais de Construção.** Rio de Janeiro: LTC, 1995.

BERGMANN, Ana Claudia. **Comparação das propriedades no estado endurecido de dois traços de concreto: convencional e autoadensável.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BORGES, Fernando Hagihara; TACHIBANA, Wilson Kendy. **O quadro evolutivo do ambientalismo e os impactos no ambiente dos negócios. XII - SIMPEP, [S. l.], p. 1-11, 7 nov. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Hagihara_Borges/publication/239527248_O_quadro_evolutivo_do_ambientalismo_e_os_impactos_no_ambiente_dos_negocios/links/56f1acee08aed354e56fc0b9.pdf.** Acesso em: 11 mar. 2020.

COSTA, Lorran Max. **Parâmetros que podem otimizar a dosagem do concreto.** Aditivos Cabo Frio. v 1, n. 1, 2016. Disponível em <https://www.trabalhosgratuitos.com/Exatas/Engenharia/Par%C3%A2metros-que-Podem-Otimizar-a-Dosagem-do-Concreto-1078126.html> . Acesso em: 11 de março de 2020.

GIACCHINI, M.; FILHO A. G DE A. Utilização da água de chuva nas edificações industriais. In: Anais. II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2008

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** IBRACON: São Paulo, p. 905-944. Fevereiro, 2010. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2020.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** IBRACON: São Paulo, p. 905-944. Fevereiro, 2010. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JÚNIO, José de Almendra Freitas. **Materiais de construção – Aditivos para concreto**. Universidade do Estado do Parana – Departamento de Tecnologia. Paraná, 2013.

JÚNIOR, Enio Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia - GO, Dezenbro 2015. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=enio-ribeiro-junior...pdf>. Acesso em: 10 março 2020.

LIMA, Sandovânio Ferreira; DA SILVA, Ana Maria Correia Reis. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 5, n. 1, p. 69, 2018.

Mateus, R.; Bragança, L. **Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção**, Edições Ecopy, Porto, 2006.

MOTA, M. B. R.; MANZANARES, M. D.; SILVA, R. A. L. 2006. Viabilidade de Reutilização de Água para Vasos Sanitários. *Rev. Ciências do Ambiente On Line*. v. 2, n. 2. p. 24-29. Disponível em: Acesso em: 10 de março de 2020.

NEVILLE, A. M.. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 5.ed. PORTO ALEGRE: BOOKMAN, 2016. 888p.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J., **TECNOLOGIA DO CONCRETO**. 2ed. PORTO ALEGRE: BOOKMAN, 2013. 448p.

OLIVEIRA, João Paulo Gama de *et al.* Reuso da água da chuva na produção de blocos de concreto não estrutural. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], p. 487-496, 29 abr. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19272/pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ZERBINATTI, Oberdan Everton. QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DA CHUVA COLETADA EM DIFERENTES TIPOS DE TELHADOS. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, [S. l.], p. 19-37, 24 set. 2011. Disponível em: ferramentas.unipinhal.edu.br. Acesso em: 11 mar. 2020.