



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BEATRIZ WANDERLEY GOMES

**ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONFECÇÃO DE CONCRETO: UMA
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA E SUA
INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA
CIMENTÍCIOS**

**ARARUNA - PB
2020**

BEATRIZ WANDERLEY GOMES

ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONFECÇÃO DE CONCRETO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA E SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CIMENTÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais e componentes de construção.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro.

**ARARUNA - PB
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G633a Gomes, Beatriz Wanderley.

Água de amassamento para confecção de concreto [manuscrito] : Uma análise comparativa entre diferentes tipos de água e sua influência na resistência à compressão de corpos de prova cimentícios / Beatriz Wanderley Gomes. - 2020.

58 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2020.

"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Água de amassamento. 2. Qualidade do concreto. 3. Reuso de água. I. Título

21. ed. CDD 624

BEATRIZ WANDERLEY GOMES

ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONFEÇÃO DE CONCRETO: UMA ANÁLISE
COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA E SUA INFLUÊNCIA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CIMENTÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso de
Engenharia Civil da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais e
componentes de construção.

Aprovado em: 01/10/2020.

BANCA EXAMINADORA

Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro

Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Igor Souza Ogata

Prof. Me. Igor Souza Ogata
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por minha vida, por toda a força para persistir diante dos obstáculos e pelas bênçãos concedidas.

Aos meus pais, Laura e Salomão por tudo, todo o esforço e dedicação para me ajudar a trilhar o meu caminho. Vocês são o exemplo de perseverança e de bondade e são as pessoas mais importantes da minha vida. Eu os amo infinitamente.

À minha irmã, Deborah, que é o meu ponto de apoio e quem sempre guiou os meus passos. Obrigada por muitas vezes me fazer enxergar além, por acreditar em mim mesma quando eu não conseguia e por todo o crescimento pessoal e profissional que me proporcionou.

Ao meu amor, por todos os anos de companheirismo, por me dar forças quando eu precisava, por apoiar minhas decisões e por todos os momentos bons que já tivemos.

À minha orientadora, Maria Adriana, pelo apoio durante a pesquisa, por não me deixar desistir e por estar disposta a ajudar e contribuir com esse trabalho. Apesar de toda as dificuldades, nós conseguimos.

Aos professores que compõem minha banca, Daniel Baracuy e Igor Ogata e aos demais professores da UEPB – Campus VIII, pelo ensinamento transmitido durante esses 5 anos de graduação.

Aos meus amigos/irmãos Alline e Pablo que estão comigo desde o começo e aos amigos que a graduação me presenteou, Matteus, Jeferson, Luana, Rayan e Diego, obrigada por todos os momentos, de descontração e estudo, sentirei muita falta de vocês.

A todos os meus familiares, em especial meus avós, minhas joias e meu porto seguro e minha tia Dilma, que me acolheu sempre que eu precisei.

Aos técnicos dos laboratórios, Kaká e Divaldo, por toda a ajuda durante a pesquisa e por toda a disposição em me ajudar sempre que necessário.

Enfim, agradeço a todos que me acompanharam durante toda a minha graduação e que contribuíram direta ou indiretamente para o meu crescimento.

RESUMO

Para suprir a necessidade de água, estudos que buscam viabilizar a reutilização da mesma para realização das diversas atividades humanas são fundamentais. Nesse âmbito, existe a possibilidade de reaproveitar água de diferentes fontes para fabricação do concreto. Essa água tem com funções proporcionar trabalhabilidade à mistura e realizar as reações de hidratação do cimento. Logo, o trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade de reutilizar água de diferentes fontes como água de amassamento em corpos de prova de concreto, bem como comparar as características mecânicas do concreto e os parâmetros físico-químicos da água. Foi realizado um estudo quali-quantitativo por meio de ensaios laboratoriais para caracterização dos agregados, confecção de corpos de prova de concreto e análise físico-química da água. Ao analisar os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, observou-se que a água coletada da lavagem de betoneira apresentou melhor resultado representado por um aumento de 9,89% na resistência à compressão quando comparada com a de abastecimento humano, sendo este valor igual a $40,711 \pm 1,382$ MPa. Já a água com menor resistência à compressão foi a de chuva, com valor igual a $33,940 \pm 3,491$ MPa. As demais apresentaram valores similares, sendo estes iguais a $37,046 \pm 2,337$ MPa para a água de abastecimento urbano, $37,75 \pm 1,071$ MPa para água de rebaixamento do lençol freático e $37,189 \pm 2,988$ MPa para a água coletada de poço. Na análise físico-química da água foi possível constatar que as amostras estudadas atenderam aos critérios de pH, cor, turbidez e sólidos totais, com ressalva para a água de rebaixamento do lençol freático que não atendeu à cor especificada. Em relação à resistência à compressão, todos os tipos de águas analisados podem ser empregados como água de amassamento na fabricação de concreto, pois apresentaram resistência à compressão maior ou igual a 90% do valor obtido para água de abastecimento. Apesar dos bons resultados para resistência à compressão, características físico-químicas não analisadas podem ocasionar problemas crônicos ao concreto, sendo, portanto, necessário realizar o ensaio de tempo de pega, determinado pela ABNT NBR 15900:2009.

Palavras-Chave: Água de amassamento. Qualidade do concreto. Reuso de água.

ABSTRACT

To meet the need for water, studies that seek to make it possible to reuse it for carrying out various human activities are essential. In this context, there is the possibility of reusing water from different sources for the manufacture of concrete. This water has the function of providing workability to the mixture and carrying out the hydration reactions of the cement. Therefore, the work aims to analyze the possibility of reusing water from different sources such as mixing water in concrete specimens, as well as a comparator such as the mechanical characteristics of concrete and the physical-chemical parameters of water. A quali-quantitative study was carried out through laboratory tests to characterize the aggregates, making concrete specimens and physical-chemical analysis of the water. When analyzing the results obtained in the compressive strength test, it was observed that a water collected from the concrete mixer washing presented the best result, represented by a 9.89% increase in the compressive strength when compared to the human supply, this value being equal to $40,711 \pm 1,382$ MPa. The water with the least resistance to compression was rain, with a value equal to $33,940 \pm 3,491$ MPa. Like other similar values, these equal $37,046 \pm 2,337$ MPa for collective urban water supply, $37,75 \pm 1,071$ MPa for lowering groundwater and $37,189 \pm 2,988$ MPa for water collected from wells. In the physical-chemical analysis of the water it was possible to verify that the studied ones meet the criteria of pH, color, turbidity and total solids, with the exception for the lowering water of the water table that did not meet the previous color. Regarding the compressive strength, all types of water can be used as kneading water in the manufacture of concrete, since it is reinforced to a compression greater than or equal to 90% of the formal value for water supply. Despite the good results for resistance to compression, physicochemical characteristics not analyzed can cause chronic problems to the concrete, therefore, it is necessary to carry out the setting time test, determined by ABNT NBR 15900: 2009.

Keywords: Kneading water. Concrete quality. Water reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da água no planeta	15
Figura 2 - Índice de disponibilidade de água per capita (m ³ /pessoa/ano)	16
Figura 3 - Relação entre as ações humanas e os impactos causados nos recursos hídricos	17
Figura 4 - Ciclo hidrológico.....	19
Figura 5 - Esquema básico de um sistema de captação de águas pluviais	21
Figura 6 - Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.....	25
Figura 7 - Principais etapas da concretagem.....	27
Figura 8 - Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto.....	29
Figura 9 - Etapas desenvolvidas durante a pesquisa	30
Figura 10 - Curva de Abrams	35
Figura 11 - Amostras de água	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do agregado miúdo de acordo com o módulo de finura.....	33
Tabela 2 - Classificação do agregado graúdo de acordo com o diâmetro máximo ..	34
Tabela 3 - Características dos materiais utilizados para fabricação de concreto	34
Tabela 4 - Consumo de água aproximado (l/m^3)	35
Tabela 5 - Volume compactado seco de agregado graúdo (m^3/m^3 de concreto)	36
Tabela 6 - Traço calculado para cada fator água/cimento	37
Tabela 7 - Dados do ensaio de determinação do teor de umidade	42
Tabela 8 - Dados do ensaio de massa específica.....	42
Tabela 9 - Análise granulométrica do agregado miúdo	43
Tabela 10 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	44
Tabela 11 - Análise granulométrica do agregado graúdo.....	45
Tabela 12 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	46
Tabela 13 - Resistência à compressão em relação com o fator água/cimento	47
Tabela 14 - Resultado da análise de pH da água	48
Tabela 15 - Resultado da análise de turbidez da água	48
Tabela 16 - Resultado da análise de sólidos totais presentes na água.....	49
Tabela 17 - Dados dos ensaios de resistência à compressão e do abatimento	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de cimentos Portland e suas características	23
Quadro 2 - Relação entre a composição granulométrica do agregado e as propriedades da mistura	24
Quadro 3 - Resultado da análise da cor da água	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise granulométrica do agregado miúdo	44
Gráfico 2 - Análise granulométrica do agregado graúdo	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Água/cimento
ANA	Agência Nacional de Águas
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
fck, ₂₈	Resistência à Compressão Estimada do Concreto à 28 dias
NBR	Norma Brasileira

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Disponibilidade e importância da água	15
3.2 Uso da água e desenvolvimento sustentável	16
3.3 Reutilização da água para amassamento do concreto	18
3.3.1 Água de fontes subterrâneas	19
3.3.2 Água de chuva	20
3.3.3 Água de lavagem de betoneiras	21
3.4 Componentes do concreto	22
3.4.1 Aglomerante	22
3.4.2 Agregados	23
3.4.3 Água de amassamento	24
3.5 Controle de qualidade	26
3.5.1 Dos insumos	26
3.5.2 Da operação de produção	27
3.5.3 Da operação de concretagem	27
3.5.4 Da resistência	28
4 METODOLOGIA	30
4.1 Tipologia do estudo	30
4.2 Caracterização dos agregados	31
4.2.1 Teor de umidade	31
4.2.2 Massa específica	31
4.2.3 Análise granulométrica	32
4.2.3.1 Agregado miúdo	32
4.2.3.2 Agregado graúdo	33
4.3 Definição do traço	34
4.4 Coleta das amostras de água	38
4.5 Análise física da água	39
4.5.1 Análise de parâmetros preliminares	39

4.5.1.1 Determinação do pH	39
4.5.1.2 Determinação da turbidez	39
4.5.1.3 Determinação da cor	39
4.5.2 Análise de sólidos totais voláteis	40
4.6 Ensaio do abatimento do tronco de cone	40
4.7 Confecção dos corpos de prova	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 Caracterização do agregado	42
5.1.1 Teor de umidade	42
5.1.2 Massa específica	42
5.1.3 Análise granulométrica	43
5.2 Definição do traço	47
5.3 Análise física da água	47
5.3.1 Análise de parâmetros preliminares	47
5.3.2 Análise de sólidos totais voláteis	49
5.4 Ensaio de resistência à compressão	50
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para sobrevivência da maioria dos seres vivos e, apesar de ser abundante, a quantidade disponível para fins potáveis é baixa. Associado a isso existem diversos fatores que aumentam a escassez de água, entre eles, maior demanda hídrica ocasionada pelo aumento populacional, poluição de corpos d'água, desperdício e ausência de políticas públicas direcionadas para o uso sustentável dos recursos hídricos (VIANA; COSTA, 2015). Nessa perspectiva, surge a necessidade de eficiência do seu uso, garantindo o seu aproveitamento de forma consciente.

Para isso, diferentes estudos buscam viabilizar a utilização de água reaproveitada nas diversas esferas da sociedade, entre elas, na construção civil, entretanto, a dificuldade se encontra em garantir a qualidade da água utilizada. Assim, a água para reuso deve atender a critérios que levam em consideração a saúde pública, nível de aceitação dos usuários, cuidado com o meio ambiente e qualidade da fonte da água e do uso pretendido (MANCUSO; SANTOS, 2003).

O reuso da água provoca um impacto positivo para o meio ambiente, proporcionando uma série de benefícios, como menor consumo de água potável e por conseguinte, preservação dos recursos hídricos, menor poluição ambiental, pelo despejo de efluentes e redução de gastos para o usuário (HESPANHOL, 2002).

Nesse âmbito, a construção civil é uma das atividades que mais demandam água para sua execução. Um estudo realizado em canteiros de obra da cidade de Recife - PE, constatou que 16,91% das atividades executadas dentro de uma obra necessitam de água para sua realização, portanto, a construção civil tem uma enorme dependência de recursos hídricos (SANTOS; SILVA; CERQUEIRA, 2015). Neste sentido, diversos estudos foram realizados com o objetivo de proporcionar o reuso da água na construção civil, tais como a utilização para descarga sanitária nos alojamentos, confecção de blocos cerâmicos e produção de concreto, devendo, entretanto, ser feita uma avaliação da qualidade da água antes de sua utilização.

Portanto, esse trabalho analisou a possibilidade de reutilizar água de diferentes fontes, tais como proveniente da chuva, da lavagem de betoneira e do rebaixamento do lençol freático e de poço, como água de amassamento em corpos de prova de concreto, realizando um comparativo entre as características mecânicas do concreto e os parâmetros físicos da água.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a resistência à compressão de concretos confeccionados com diferentes tipos de água de amassamento.

2.2 Específicos

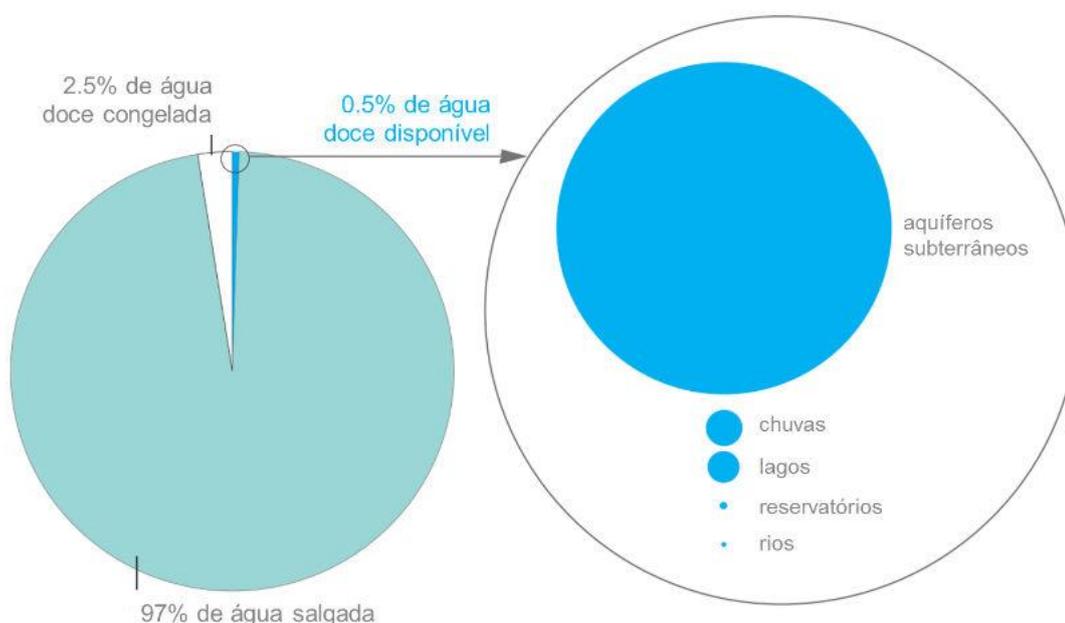
- Caracterizar os insumos necessários à fabricação do concreto, analisando a granulometria, teor de umidade e massa específica dos agregados e as características físico-químicas da água de amassamento;
- Verificar a influência da água de amassamento na resistência à compressão do concreto;
- Expor as principais vantagens e desvantagens de águas obtidas de fontes alternativas para fabricação do concreto, e assim, definir a mais adequada para este fim.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Disponibilidade e importância da água

Estatísticas apontam que a Terra tem cerca de 70% de água em sua superfície, sendo um dos recursos mais disponíveis no planeta. Entretanto, apenas uma pequena parte é própria para o consumo humano, sendo 97% desse volume de água salgada, conforme representado na Figura 1.

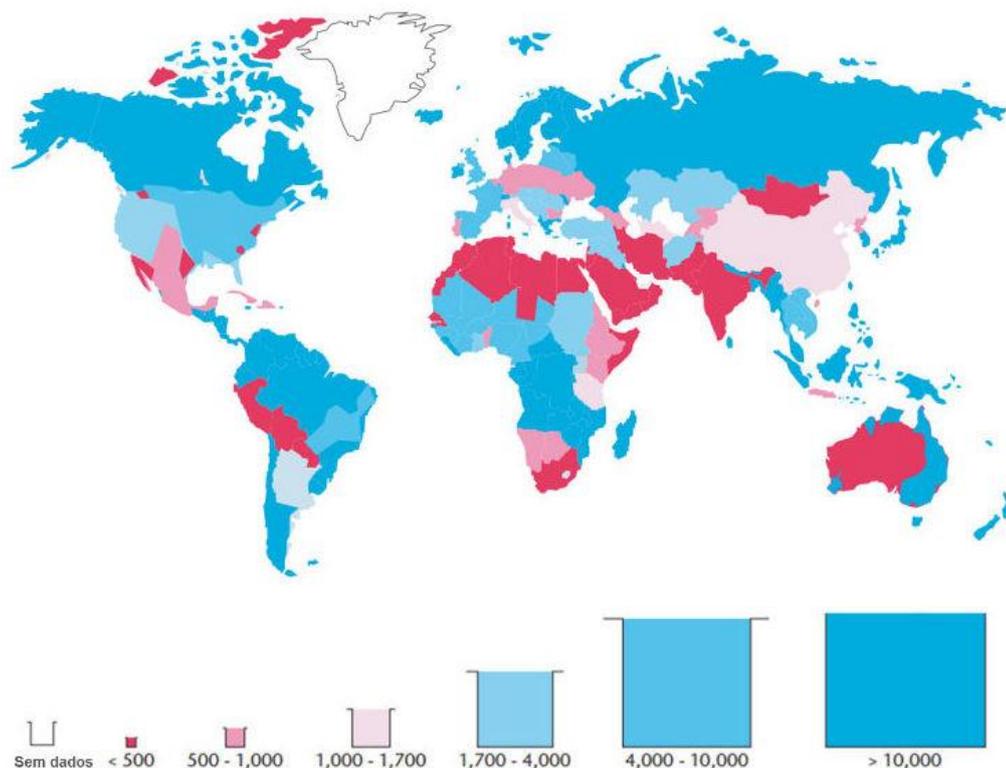
Figura 1 - Distribuição da água no planeta



Fonte: World Business Council for Sustainable Development (2009).

A água é um componente indispensável para sobrevivência dos seres vivos. Segundo a Declaração Ministerial de Haia sobre Segurança Hídrica no Século XXI, a água é essencial para conservação dos ecossistemas, sendo um dos requisitos básicos para que ocorra o desenvolvimento dos países. Entretanto, a disponibilidade para realização das necessidades básicas é baixa ou até mesmo inexistente para muitas pessoas (Figura 2), fato agravado pela poluição dos corpos d'água, mudanças climáticas e uso irracional da água.

Figura 2 - Índice de disponibilidade de água per capita ($\text{m}^3/\text{pessoa}/\text{ano}$)



Fonte: Revenga (2000).

Tem sido observado que cada vez mais ocorre uma redução da quantidade de água doce, ocasionada pelo crescimento econômico, o aumento da demanda de água e com isso, alterações no ciclo hidrológico (BARROS; AMIN, 2008).

Nesse sentido, o Brasil é considerado um país privilegiado por possuir a maior reserva de água doce do planeta. Entretanto, o país enfrenta grandes problemas com desperdícios nas redes de abastecimento, além de distribuições desiguais, com cerca de 75% da água do país disposta na Bacia Amazônica (SISTEMA DE AUTOAVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA HÍDRICA, 2020).

3.2 Uso da água e desenvolvimento sustentável

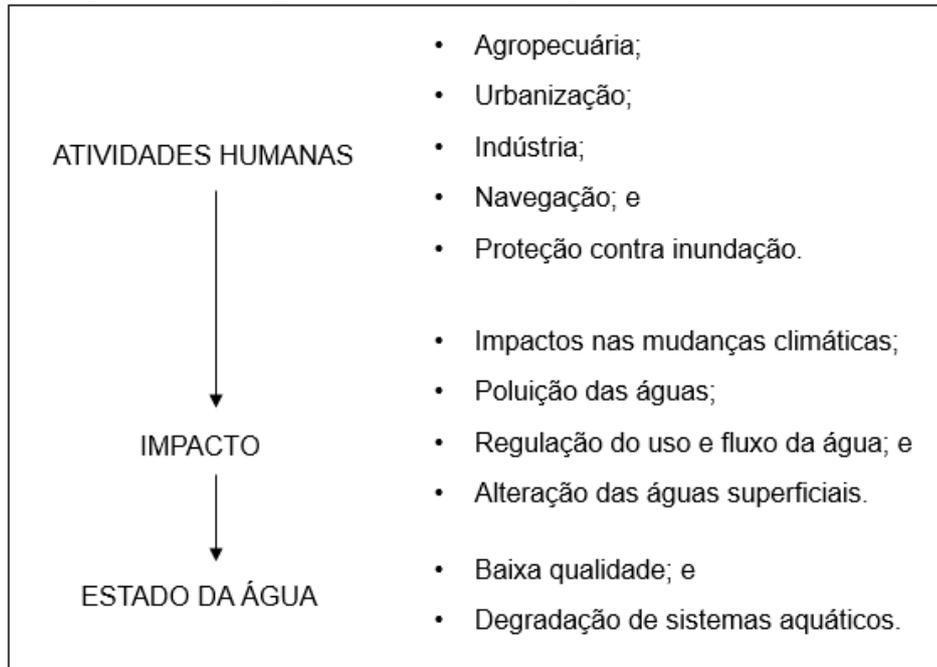
A água é utilizada para diferentes fins, cada um com suas características próprias, relacionados à quantidade ou à qualidade exigidas. Os usos são voltados principalmente para consumo humano e animal, irrigação, para indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer. Nas últimas duas décadas, houve um aumento da demanda de água no Brasil, relacionado à

urbanização e ao crescimento do desenvolvimento econômico, que acentuam o *stress* hídrico no país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Por causa disso, um dos maiores desafios das cidades é o desenvolvimento sustentável associado com o aumento da população. Oliveira e Moraes (2017) concluíram em seu estudo realizado em Macapá – AP, que não existe um sistema de políticas públicas ambientais eficaz, para garantir uma melhor qualidade de vida para a população e uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

Além de propiciar o aumento do consumo, a expansão da cidade a montante e a jusante dos mananciais provoca a contaminação destes, reduzindo a qualidade dos recursos hídricos e conseqüentemente, a sua disponibilidade. Tal situação causa uma série de impactos ambientais, tais como a falta de tratamento de esgotos doméstico e industrial, contaminação do escoamento pluvial, diminuição da recarga subterrânea ocasionada pela impermeabilização das superfícies urbanas e aumento das inundações na área urbana (TUCCI, 2017). A Figura 3 apresenta a relação entre as ações humanas e os impactos causados nos recursos hídricos.

Figura 3 - Relação entre as ações humanas e os impactos causados nos recursos hídricos



Fonte: Adaptado de European Environment Agency (2016).

Nesse âmbito, a gestão integrada das águas urbanas tem como objetivo tentar reduzir os impactos nas cidades, buscando a sustentabilidade hídrica e ambiental. Dentre seus princípios estão a compreensão de fontes alternativas de água,

associação da qualidade da água com o seu uso, proteção, conservação e exploração dos recursos hídricos, busca da eficiência, equidade e sustentabilidade e incentivo à participação de todas as partes interessadas (GLOBAL WATER PARTNERSHIP, 2013).

3.3 Reutilização da água para amassamento do concreto

A escassez de água no mundo acarretou a busca de novas fontes para suprir a demanda de todos os setores da sociedade, incluindo o campo da construção civil. Nesse sentido, utilizar novas alternativas de água para produção do concreto reduz o emprego de água potável e pode melhorar o equilíbrio entre a demanda e a disponibilidade. Para isso surgiram novas pesquisas que visavam demonstrar a reutilização de água previamente testada, de diversas fontes como a água do mar e a residual da indústria (AL-JABRI et al., 2011).

O reuso de água consiste em utilizar a água residuária, seja ela proveniente de efluentes líquidos das edificações e indústrias ou descartada, podendo ser tratada ou não. No Brasil, a prática do reuso não é disseminada, visto que o país detém uma quantidade satisfatória de recursos hídricos e, com isso, a população não tem a consciência de que os mesmos possam se esgotar, associado à inexistência de políticas públicas para efetivar o reuso (SILVA; CARVALHO; CARDOSO, 2019).

Nesse cenário, a construção civil se apresenta com um dos possíveis locais em que é viabilizado o reuso de água. Algumas pesquisas em todo o mundo visam a utilização de água recuperada para utilização no concreto, proporcionando a efetividade dessa ação. Em alguns países, como a Alemanha, esta já é uma prática comum (SILVA; NAIK, 2010).

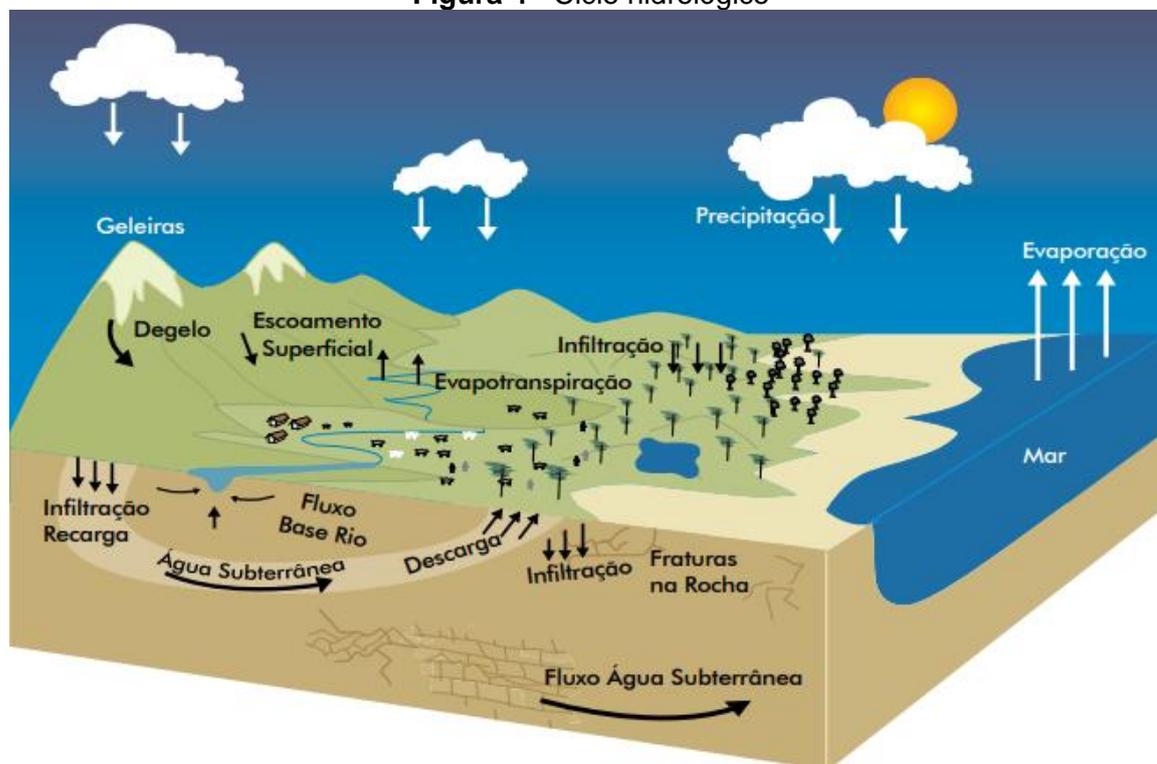
Desde que o concreto é utilizado na indústria da construção, a água potável é usada para realizar a mistura do cimento com os agregados miúdos e graúdos. Entretanto, embora seja imprescindível para o concreto, não existem muitas pesquisas acerca da utilização da água de amassamento, voltada especificamente para o padrão de qualidade da mesma (BABU; RAMANA, 2018). A água para a produção do concreto ocupa cerca de 9,5% da quantidade de massa dos materiais utilizados. Apesar da proporção ser relativamente baixa, a água determina uma série de alterações nas características do concreto, sendo necessário, portanto, que seja

feito o acompanhamento da qualidade da mesma antes da sua utilização (RECENA, 2017).

3.3.1 Água de fontes subterrâneas

As águas subterrâneas são geradas por meio do acúmulo do excedente de águas pluviais em espaços vazios abaixo da superfície do solo, ou seja, formações geológicas conhecidas como aquíferos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020). Embora exista a denominação de água superficial, subterrânea e atmosférica, vale salientar que, na verdade, correspondem a um só tipo de água, que apenas se movimenta e muda de condição, desse modo possibilitando a existência de rios, oceanos, água subterrânea, entre outros (BRASIL, 2007), conforme apresenta a Figura 4.

Figura 4 - Ciclo hidrológico



Fonte: Brasil (2007).

Entretanto, embora exista movimentação, a água doce não está distribuída uniformemente pela superfície do planeta. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (2020), o Brasil possui aproximadamente 12% da quantidade de água doce

disponível no planeta, distribuída desigualmente por todo o país. Em relação à reserva de águas subterrâneas, esta é estimada em cerca de 112.000 km³ dos quais existem regiões com grande disponibilidade de água subterrânea, como as dispostas sobre o Aquífero Guarani e outras com baixa disponibilidade (REBOUÇAS; BENEDITO; TUNDISI, 1999).

A água proveniente de fontes subterrâneas que não é utilizada para fins potáveis, tais como a água do rebaixamento do lençol freático, na maioria das vezes é descartada incorretamente nas galerias pluviais e de esgotos. Entretanto, foram propostas soluções para reaproveitamento dessa água dentro da construção civil, de modo a evitar o desperdício da mesma e trazer benefícios econômicos com a redução de custos para a obra (MORAES, 2018).

Apesar da prática não ser realizada em todo o Brasil por falta de incentivo ou mesmo pela disponibilidade em algumas regiões, a Portaria DAEE N° 2069 de 19 de setembro de 2014 regulamenta a utilização da água proveniente de rebaixamento de lençol freático, voltada para edificações e obras de construção civil. Esta portaria expõe que é proibida a utilização dos recursos hídricos em questão, para fins potáveis, como ingestão, higiene pessoal, preparo de refeições e recreação e que para viabilizar sua utilização, deve ser realizado um laudo da análise físico-química e bacteriológica da água, que precisa seguir os limites previstos na portaria.

3.3.2 Água de chuva

A água tratada tem um custo alto desde a captação até a sua utilização, sendo portanto, indicado que esta água seja empregada para os fins mais nobres, como o consumo humano e recomendado para os demais fins, o reuso de águas residuárias, visando à economia e preservação dos recursos hídricos (JÚNIOR et al., 2019).

A prática do reaproveitamento de águas da chuva já é realizada em diversos países como a Alemanha e o Japão, incluído o Brasil, que apresenta uma norma técnica para regulamentar seu uso. A ABNT NBR 15527:2019 define como é realizado o dimensionamento do reservatório e como devem ser instalados os dispositivos para remoção de detritos, calhas e condutores. A Figura 5 apresenta um esquema básico de um sistema de captação desenvolvido de acordo com as especificações da referida norma.

Figura 5 - Esquema básico de um sistema de captação de águas pluviais



Fonte: Adaptado de Sempresustentável (2020).

Dentre as vantagens, podem ser citadas as economias financeira e de água visando a preservação dos corpos d'água e a baixa quantidade de manutenções periódicas no sistema de captação; Como desvantagem observa-se a imprevisão de ocorrência de chuvas, que impossibilita a dependência total desse tipo de fonte de água (SILVA et al., 2018).

3.3.3 Água de lavagem de betoneiras

A água utilizada para lavagem de caminhões betoneira é produzida em grandes quantidades nas centrais dosadoras de concreto. Segundo pesquisa realizada na Itália, para lavagem de um caminhão betoneira que produz cerca de 9 m³ de concreto, são utilizados de 700 a 1300 litros de água que podem ser mecanicamente separados dos agregados (SANDROLINI; FRANZONI, 2001). Isso gera um custo para a empresa e acarreta um risco de contaminação ao meio ambiente por sua destinação incorreta (MALAGUTI; MYMRIN; MATOSKI, 2017).

A preocupação em eliminar de forma correta a água residuária do processo de lavagem dos caminhões betoneira, associada com a possibilidade de reuso da mesma, ocasionou o desenvolvimento de pesquisas em vários países, fato evidenciado pela existência de normas internacionais que regulamentam a aplicação

dessa água na produção de concreto e, conseqüentemente, redução de geração de efluentes no meio ambiente (CARDOSO, 2018).

Entretanto, a água da lavagem dos caminhões é perigosa devido ao seu elevado pH, sendo este superior a 11,5. Porém, na China foi desenvolvido um sistema especial para reutilizar a água, que consiste em uma série de tanques utilizados para neutralizar seu pH, possibilitando seu uso no concreto (TSIMAS; ZERVAKI, 2011).

3.4 Componentes do concreto

O concreto pode ser definido como uma mistura homogênea em quantidades adequadas de aglomerante (cimento), agregados (areia e brita) e água, devendo possuir após a conclusão da mistura, plasticidade suficiente para ser manuseado, transportado e lançado. Entre os fatores que influenciam a resistência e durabilidade do concreto estão as propriedades dos materiais utilizados, a dosagem e execução do mesmo (AMBROZEWICZ, 2012).

3.4.1 Aglomerante

Os aglomerantes são materiais pulverulentos, com diâmetro menor do que 0,075 mm e, na presença de água, formam uma pasta resistente que tem como função dar liga aos agregados na fabricação da argamassa e do concreto, sendo o mais utilizado na construção civil, o cimento, um pó fino composto de silicatos e aluminatos de cálcio que, dentre suas características, a que mais se destaca é a capacidade de desenvolver elevada resistência mecânica (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

Para uso no concreto, existem diversos tipos de cimento Portland, que variam em função da sua composição e é classificado de acordo com suas características, conforme apresenta o Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de cimentos Portland e suas características

TIPO		CARACTERÍSTICAS
Sigla	Denominação	
CP I	Portland Comum	É produzido somente com o gesso como adição. É usado para regular a pega, sendo seu uso indicado somente em construções no qual não existe exposição a agente agressivos.
CP II	Portland Composto	Constituído por outros materiais que proporcionam menor calor de hidratação à mistura. Pode ser classificado em: CP II – E (com adição de escória de alto forno); CP II – F (com adição de fíler); e CP II – Z (com adição de material pozolânico).
CP III	Portland de Alto Forno	É composto pela adição de escória granular de alto forno. Ele apresenta baixo calor de hidratação, é mais impermeável, tem maior durabilidade e resistência a sulfatos.
CP IV	Portland Pozolânico	Contém adição de pozolana que provoca uma maior impermeabilidade e durabilidade.
CP V - ARI	Portland de Alta Resistencia Inicial	Tem alta resistência inicial e alto calor de hidratação, sendo indicado para obras em que a desforma é feita rapidamente.

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012).

Dentre os tipos apresentados nas construções os mais utilizados são o CP II – E, CP II – F e CP III. Já para o uso em estruturas pré-moldadas, o tipo mais comum é o CP V – ARI (BASTOS, 2006).

3.4.2 Agregados

Bauer (2000) define agregado como um material granular, incoesivo e com baixa atividade química. Ele pode ser classificado de acordo com suas dimensões em agregado miúdo e graúdo. O agregado miúdo tem 85% das partículas com diâmetro inferior a 4,8 mm, ou seja, quando peneiradas passam quase totalmente na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e a maior parte fica retida na peneira de 0,075 mm (ABNT NBR NM 52, 2009). Já o agregado graúdo possui 85% das partículas com

diâmetro superior a 4,8 mm, ou seja, partículas que quando peneiradas ficam retidas na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (ABNT NBR NM 53, 2009).

Segundo Ripper (1995), as características dos agregados tais como granulometria, densidade relativa, forma das partículas, entre outras, influenciam nas propriedades e qualidade das argamassas e concretos, visto que os mesmos necessitam de boas resistências mecânicas e elevada durabilidade. O Quadro 2 apresenta a relação entre a composição granulométrica do agregado e as propriedades da mistura.

Quadro 2 - Relação entre a composição granulométrica do agregado e as propriedades da mistura

Propriedade	Quanto mais fino	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de Água	Melhor	-	Melhor
Retração na Secagem	Aumenta	Aumenta	-
Porosidade	-	Aumenta	-
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência Mecânica	-	Pior	-
Impermeabilidade	Pior	Pior	-

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

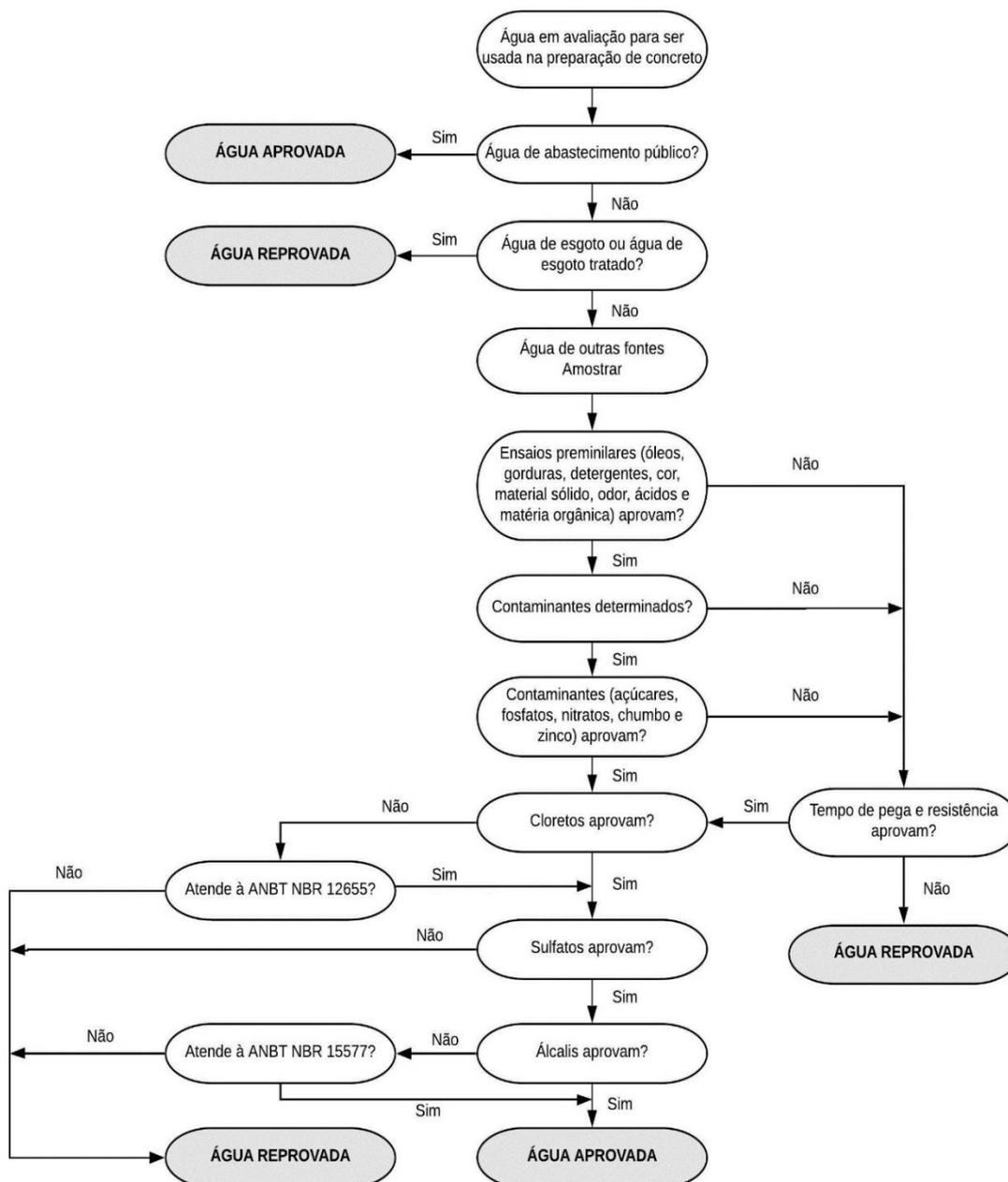
3.4.3 Água de amassamento

A água presente no concreto é utilizada para proporcionar trabalhabilidade a uma mistura e hidratar o cimento. Por influenciar diversos aspectos da mistura, tais como resistência, pega, exsudação, retração por secagem, ataque químico ao concreto, corrosão de armaduras, entres outros, é necessário que a água apresente o padrão de qualidade exigido para ser utilizada para amassamento e cura (NEVILLE, 2016).

A ABNT NBR 15900:2009 estabelece as condições para a água a ser usada no amassamento de concreto. Além disso, essa norma classifica os tipos de água que podem ser empregadas para amassamento, sendo a água de abastecimento público considerada adequada, sem a necessidade de realizar ensaios.

Para aprovação da água quanto aos itens especificados na norma (exigências físico-químicas) são realizados ensaios quantitativos e qualitativos. Na ausência desses ensaios ou quando os parâmetros não forem estabelecidos, devem ser realizados ensaios de tempo de pega, inicial e final, e resistência à compressão em amostra utilizando a água em ensaio. A Figura 6 apresenta o fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.

Figura 6 - Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15900 (2009).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o excesso de impurezas presentes na água de amassamento pode afetar a resistência à compressão, o tempo de pega, corroer a armadura e gerar a eflorescência (manifestação patológica caracterizada pelo depósito de sais brancos na superfície de concreto). Entretanto, os autores afirmam que a água de amassamento, na maioria dos casos, é um fator irrelevante na resistência do concreto.

3.5 Controle de qualidade

O controle de qualidade do concreto não está relacionado somente com a resistência à compressão, mesmo sendo esta a mais importante e que fornece uma melhor caracterização. Entretanto, o acabamento e a durabilidade do concreto devem ser levados em conta, analisando os insumos empregados e as etapas de produção e concretagem (RECENA, 2017).

3.5.1 Dos insumos

Segundo Ambrozewicz (2012), as características mais importantes de um agregado são a composição granulométrica, absorção de água, porosidade, forma e textura da superfície das partículas e resistência à compressão. A seguir, são apresentadas as considerações do autor sobre algumas das características dos agregados.

- **Análise granulométrica:** É obtida por meio do peneiramento de uma determinada quantidade de massa do agregado e pode ser definida como a proporção relativa dos grãos dos agregados medida em porcentagem, de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003. Essa característica influencia na qualidade do concreto, tanto no estado plástico relacionado com a trabalhabilidade, como após o endurecimento, modificando a compacidade e a resistência.
- **Módulo de finura:** Está relacionado com a área superficial do agregado, modificando a área de molhagem para determinar a consistência, podendo provocar, portanto, alteração no traço.

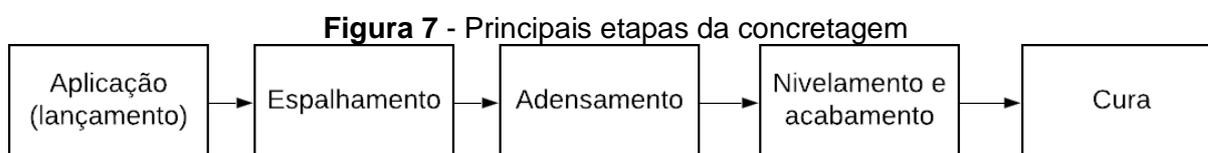
- **Massa específica:** É a relação entre a massa e o volume de agregado, ou seja, o volume dos grãos. O valor obtido é utilizado durante a dosagem de concreto para transformar massa em volume absoluto e assim, determinar o consumo teórico de cada material. Os ensaios devem ser realizados de acordo com as normas ABNT NBR NM 52:2009 e ABNT NBR NM 53:2009.
- **Teor de umidade:** A umidade pode ser determinada de diversos modos, entre eles, pela secagem em estufa e seu valor é utilizado para corrigir a quantidade de água a ser utilizada para produção de concreto, regida pela norma DNER-ME 213:1994.

3.5.2 Da operação de produção

O controle da qualidade de produção está relacionado a dois fatores. O primeiro deles é a etapa de dosagem. Nesse, é calculada a quantidade de materiais utilizados e, qualquer modificação nessa quantidade, no fator água/cimento (a/c) ou até mesmo na natureza do seu agregado e sua distribuição granulométrica, pode afetar a resistência do concreto. Outro fator relacionado à produção é a mistura, que deve garantir o envolvimento dos agregados pela pasta de cimento. Esse parâmetro é influenciado pela eficiência do misturador e a quantidade de concreto produzido (RECENA, 2017).

3.5.3 Da operação de concretagem

A concretagem consiste no processo de execução de uma peça de concreto, seja o concreto produzido *in loco* ou em centrais dosadoras, englobando as etapas de lançamento, adensamento e cura. A Figura 7 apresenta as principais etapas realizadas durante a concretagem.



Fonte: Adaptado de FREIRE (2001, *apud* GONÇALVES, 2009).

Segundo Recena (2017), o controle de qualidade da concretagem engloba quatro etapas principais, sendo elas:

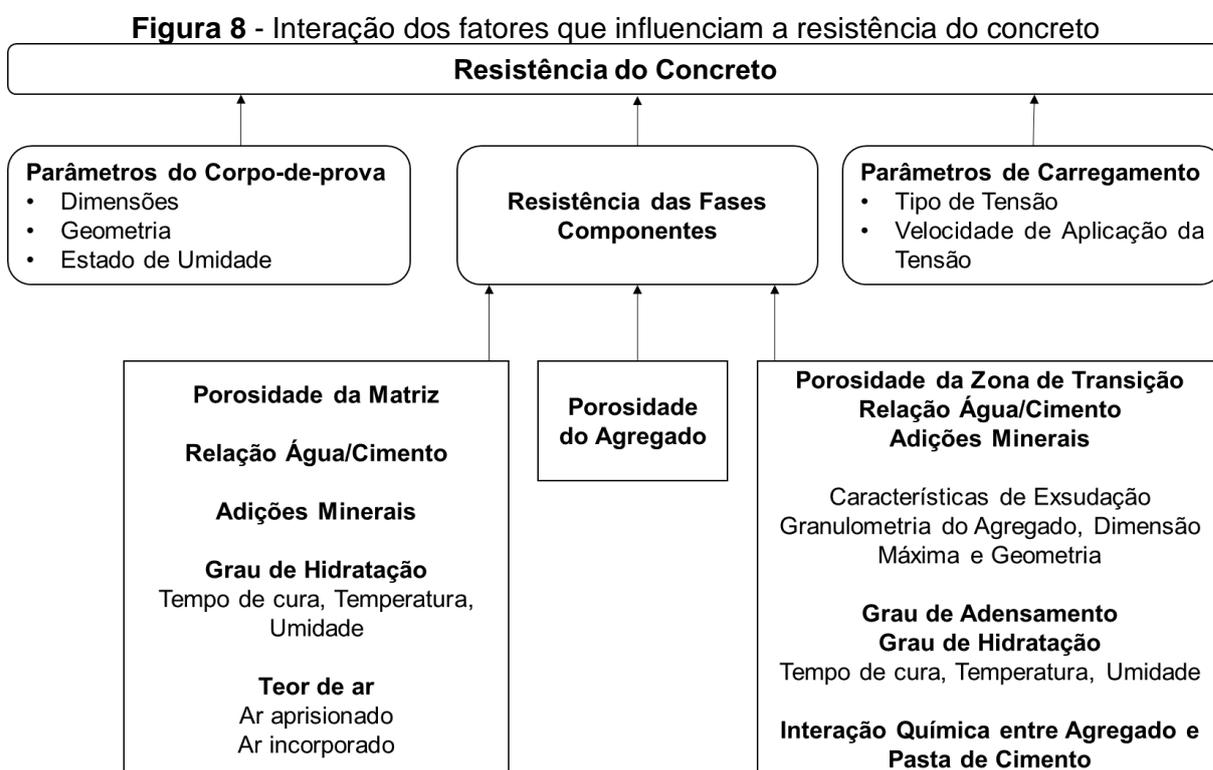
- **Transporte:** Deve ocorrer no menor trajeto possível, de modo a evitar perda de umidade e reduzir a probabilidade de separação ocorrida pela vibração gerada durante o transporte e, conseqüentemente, perda da homogeneidade da mistura;
- **Lançamento:** A velocidade de lançamento precisa ser conciliada com a velocidade de confecção do concreto e com a eficiência do transporte e buscando evitar a interrupção durante a concretagem de modo a impedir a sobra do concreto pronto;
- **Adensamento:** Essa etapa tem como objetivo aumentar a compacidade da mistura, fazendo com que as partículas menores preencham os vazios e conseqüentemente, retirar o ar preso durante a produção, aumentando a resistência. Ele pode ocorrer de forma manual, como é o caso da moldagem dos corpos de prova, e de forma mecânica, sendo a última, considerada a forma mais adequada;
- **Cura:** São medidas adotadas para evitar a saída prematura da água usada durante a confecção de concreto e assegurar a ocorrência das reações de hidratação do cimento, reduzindo a probabilidade de surgimento de fissuras. Os fatores que influenciam na cura são os que interferem na evaporação da água, na temperatura ambiente e do concreto. A cura pode não ocorrer na presença de água, entretanto, sendo o método mais eficaz, o que a água é utilizada em abundância, com a aplicação sendo feita de modo direto sobre a superfície do concreto.

3.5.4 Da resistência

A análise da resistência mecânica do concreto é realizada por meio do ensaio de compressão axial de corpos de prova, seguindo a norma ABNT NBR 5738:2015, que aborda os procedimentos que devem ser realizados durante a moldagem e a cura e a ABNT NBR 5739:2018, que define os métodos realizados no ensaio de compressão.

A resistência à compressão do concreto é a máxima tensão que ele suporta sem se romper. É um ensaio normalmente utilizado devido a sua facilidade de execução, seu custo e por acreditar que algumas propriedades do concreto, tais como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência a intempéries podem ser calculadas com os dados do experimento. Os valores obtidos no ensaio dependem ainda de uma série de fatores que afetam as características do concreto, entre elas, o traço, grau de compactação, as condições de cura, entre outros (MEHTA; MONTEIRO; 2014).

A Figura 8 apresenta a interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto.



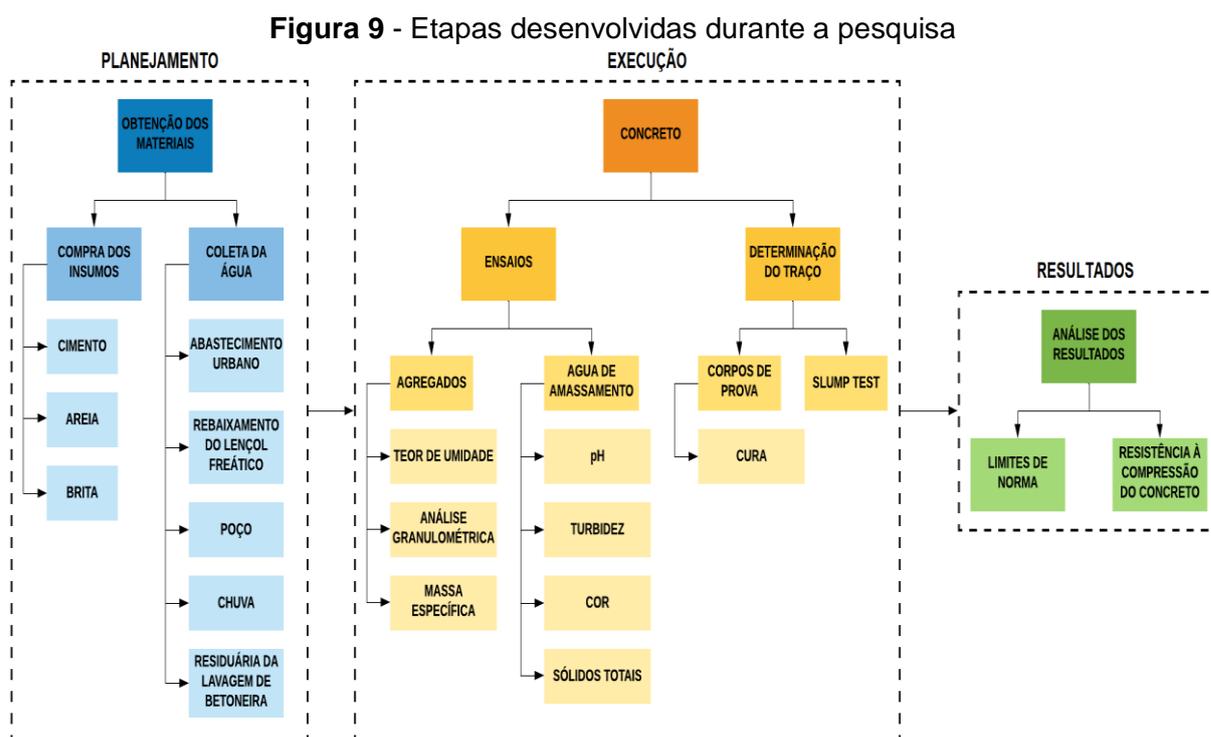
Fonte: MEHTA; MONTEIRO (2014).

4 METODOLOGIA

4.1 Tipologia do estudo

A metodologia aplicada consistiu na compra de materiais de consumo no comércio local, no município de Araruna – PB, tais como cimento, areia e brita, coleta dos diferentes tipos de água e ensaios laboratoriais para caracterização dos agregados, confecção de corpos de prova de concreto, realizados no Laboratório de Materiais da Universidade Estadual da Paraíba localizado no Campus VIII, e análise físico-química da água, realizado no Laboratório de Saneamento do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). A Figura 9 apresenta as etapas metodológicas desenvolvidas na pesquisa.

A amostra de água proveniente do rebaixamento do lençol freático foi coletada em uma obra localizada na cidade de João Pessoa – PB, no mês de setembro de 2019. As demais amostras foram coletadas na Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII, localizado em Araruna – PB, entre os meses de outubro e novembro de 2019.



Fonte: Autor (2020).

Foi realizado um estudo quanti-qualitativo, no qual foram analisados e mensurados os dados obtidos na análise físico-química da água (pH, turbidez, cor e sólidos totais), na caracterização dos agregados miúdo e graúdo (teor de umidade, análise granulométrica e massa específica) e, por fim, nos ensaios de abatimento do tronco cônico e resistência à compressão do concreto.

4.2 Caracterização dos agregados

4.2.1 Teor de umidade

O ensaio de determinação do teor de umidade foi realizado em quintuplicada, sendo inicialmente pesados os cadinhos utilizados e colocado aproximadamente 10g do agregado úmido nos mesmos.

Em seguida, as amostras foram colocadas na estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas. Por fim, o conjunto cadinho e agregado foram pesados novamente, e com os dados obtidos, foi possível determinar a quantidade de água presente na amostra pela diferença entre as massas do agregado úmido e seco, seguindo a norma DNER-ME 213:1994. Desse modo, o teor de umidade foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que,

- h – Teor de umidade, em %;
- m_{bu} – Massa brita úmida correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material úmido, em g;
- m_{bs} – Massa brita seca correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material seco, em g; e
- m – Massa do recipiente, em g.

4.2.2 Massa específica

O ensaio foi realizado seguindo as normas ABNT NBR NM 52:2009 e ABNT NBR NM 53:2009, respectivamente para o agregado miúdo e graúdo.

Para o agregado miúdo, primeiramente foram pesados 500 g do agregado que foi então colocado em um frasco graduado e pesado o conjunto. O frasco foi cheio com água até a marca de 500 mL e movido para eliminar as bolhas de ar, sendo por fim, pesado para determinar a massa total do conjunto. Já para o agregado graúdo, foram utilizados 4000 g do agregado. De maneira análoga ao procedimento realizado para o agregado miúdo, o agregado graúdo foi colocado em um frasco graduado e pesado. Em seguida, a amostra foi submersa em água e novamente pesada.

O valor da massa específica é obtido por meio da relação entre a massa do agregado e seu volume, de acordo com a Equação 2.

$$d = \frac{m}{V - V_a} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- d - Massa específica aparente do agregado, em g/cm^3 ;
- m - Massa da amostra, em g;
- V - Volume do frasco, em cm^3 ; e
- V_a - Volume de água adicionada ao frasco, em cm^3 .

Como as massas específicas dos agregados miúdo e graúdo foram utilizadas para na etapa de dosagem de concreto, os experimentos foram realizados com os agregados úmidos, eliminando o procedimento de secagem apresentado na norma.

4.2.3 Análise granulométrica

4.2.3.1 Agregado miúdo

O ensaio foi realizado utilizando uma amostra de aproximadamente 1000 g do agregado miúdo seco e quarteado, no qual inicialmente, ela foi colocada em estufa a uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas. O peneiramento realizado foi do tipo manual, empregando as peneiras da série normal (4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; e 0,15 mm), conforme a norma ABNT NBR NM 248:2003. Com a massa retida em cada peneira, foi possível determinar a dimensão máxima característica, que é a malha da peneira na qual o percentual de massa retida acumulada é igual ou inferior a 5%.

Com os dados da análise granulométrica é possível calcular o módulo de finura, definido como o somatório das porcentagens da massa retida acumulada, exceto o fundo, dividido por 100, conforme a Equação 3.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retida acumulada}}{100} \quad (\text{Equação 3})$$

Assim, é possível classificar o agregado miúdo de acordo com o módulo de finura, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do agregado miúdo de acordo com o módulo de finura

Tipo	Módulo de finura (MF)
Grosso	MF > 3,90
Médio	3,90 > MF > 2,40
Fino	MF < 2,40

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012).

4.2.3.2 Agregado graúdo

Inicialmente, a amostra foi lavada para retirar o material pulverulento e colocada em estufa a uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, sendo o ensaio realizado utilizando uma amostra de aproximadamente 5000g do agregado graúdo.

O peneiramento realizado foi do tipo manual, utilizando as peneiras das séries normal e intermediária (25; 19; 12,5; 9,5; 6,3; 4,8; 2,4 e 1,2 mm), conforme a norma ABNT NBR NM 248:2003. De maneira análoga ao agregado miúdo, foi possível determinar também a dimensão máxima característica. A Tabela 2 apresenta a classificação do agregado graúdo de acordo com o diâmetro máximo característico.

Tabela 2 - Classificação do agregado graúdo de acordo com o diâmetro máximo

Tipo	Diâmetro (mm)
Brita 0	4,8 a 9,5
Brita 1	9,5 a 19
Brita 2	19 a 25
Brita 3	25 a 38
Brita 4	38 a 76

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012).

4.3 Definição do traço

Para dosar o concreto, foi utilizado o método da Associação Brasileira de Concreto Portland (ABCP), no qual é necessário saber as características do aglomerante e dos agregados utilizados, dispostos na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Características dos materiais utilizados para fabricação de concreto

Massa específica do cimento (CP II – E 32)	3,0 kg/dm ³
Massa específica da areia	2,5 kg/dm ³
Massa específica da brita	2,86 kg/dm ³
Módulo de finura do agregado miúdo	2,02
Diâmetro máximo do agregado graúdo	25 mm

Fonte: Autor (2019).

Inicialmente, foi calculada a resistência à compressão estimada do concreto à 28 dias ($F_{c,28}$) utilizando a resistência à compressão característica ($F_{c,k}$) de 25 MPa e o desvio padrão condição A ($S_d = 4,0$ MPa), sendo este utilizado quando o cimento e os agregados foram medidos em massa e a água de amassamento medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados, conforme Equação 4. Desse modo, o $F_{c,28}$ foi igual a 31,6 MPa.

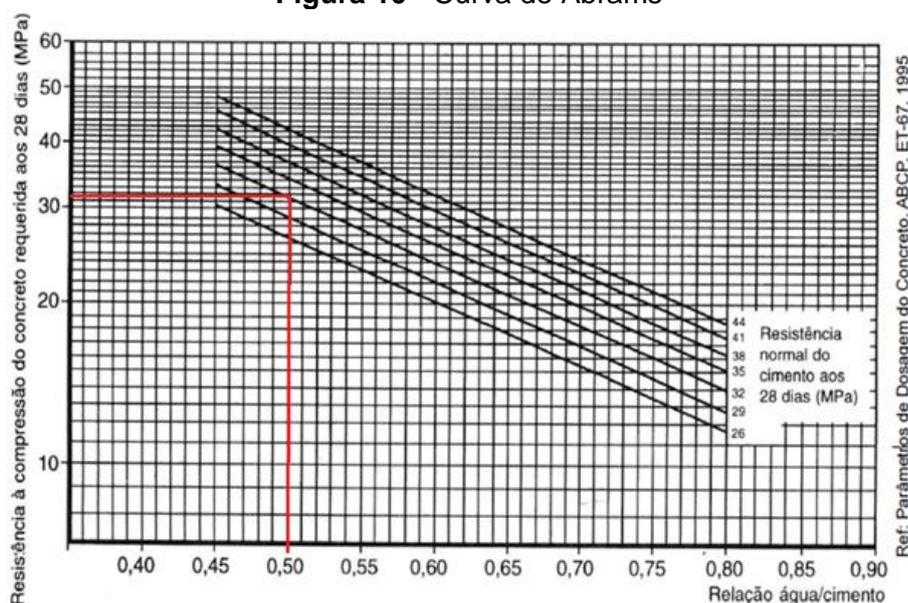
$$f_{c,j} = f_{ck} + 1,65S_d \quad (\text{Equação 4})$$

Em que,

- $F_{c,j}$ - Resistência característica do concreto à compressão, em MPa;
- F_{ck} - Resistência à compressão do concreto, para a idade de 28 dias, em MPa;
- S_d - Desvio padrão da dosagem em função do controle da obra, em MPa.

Com isso, foi possível determinar a relação a/c com o auxílio da Curva de Abrams (Figura 10), cujo valor encontrado foi de 0,5. Entretanto, foram utilizados ainda os valores de 0,25 e 0,4 a fim de escolher o mais adequado para confecção do concreto, visando a maior resistência à compressão. Vale salientar que para cada fator a/c foi realizada a dosagem considerando o mesmo para calcular a quantidade de cada um dos componentes do concreto.

Figura 10 - Curva de Abrams



Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012).

O consumo de água foi determinado por meio do abatimento do concreto, sendo adotado um abatimento de 40 a 60 mm, e do diâmetro do agregado graúdo, com o auxílio da Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Consumo de água aproximado (l/m³)

Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Ambrozewicz (2012).

O consumo de cimento foi calculado através da razão entre o consumo de água e o fator a/c (Equação 5).

$$C = \frac{Ca}{a/c} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que,

- C - Consumo de cimento, em kg/m³; e
- Ca - Consumo de água, em l/m³.

O consumo de agregado graúdo foi definido pela Equação 6, com auxílio da Tabela 5.

$$Cb = Vc \times Mc \quad (\text{Equação 6})$$

Em que,

- Cb - Consumo de brita, em kg/m³;
- Mc - Massa unitária compactada do agregado graúdo, em kg/m³; e
- Vc - Volume compactado seco de agregado graúdo por m³ de concreto, em m³.

Tabela 5 - Volume compactado seco de agregado graúdo (m³/m³ de concreto)

Módulo de Finura	Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012).

Para a areia, o consumo foi calculado multiplicando a massa específica e volume da areia, através da Equação 7.

$$Cm = Vm \times mm \quad (\text{Equação 7})$$

Com:

$$Vm = 1 - \left(\frac{C}{mc} + \frac{Cb}{mb} + \frac{Ca}{ma} \right) \quad (\text{Equação 8})$$

Em que,

- mm - massa específica do agregado miúdo, em kg/m³;
- mc - massa específica do cimento, em kg/m³;
- mb - massa específica do agregado graúdo, em kg/m³; e
- ma - massa específica da água, em kg/m³.

Todos os consumos foram divididos pelo consumo do cimento (Equação 9), obtendo-se o traço, conforme apresenta a Tabela 6.

$$\frac{C}{C} : \frac{Cm}{C} : \frac{Cb}{C} : \frac{Ca}{C} \quad (\text{Equação 9})$$

Tabela 6 - Traço calculado para cada fator água/cimento

Fator a/c	Traço
0,25	1 : 0,45 : 1,58 : 0,25
0,4	1 : 1,22 : 2,53 : 0,4
0,5	1 : 1,73 : 3,16 : 0,5

Fonte: Autor (2019).

Vale salientar que a dosagem do concreto foi realizada com o diâmetro máximo do agregado graúdo igual a 25 mm. Após o ensaio de análise granulométrica, foi constatado que o diâmetro do mesmo seria de 19 mm, entretanto, como os corpos de prova já haviam sido confeccionados, optou-se por manter os dados obtidos, visto que a resistência à compressão foi satisfatória.

4.4 Coleta das amostras de água

As amostras (Figura 11) foram coletadas conforme a ABNT NBR 15900-2:2009, no qual estas foram colocadas em garrafas PET, previamente lavadas para não contaminar a água coletada.



Fonte: Autor (2019).

A coleta da água de rebaixamento do lençol freático foi realizada na cidade de João Pessoa – PB. Foi visitado um canteiro de obras da região litorânea que se encontrava na fase da fundação, sendo necessário o rebaixamento do lençol freático. Já as amostras restantes (água de abastecimento, de poço, de chuva e proveniente da lavagem da betoneira) foram coletadas no município de Araruna – PB.

De acordo com a norma ABNT NBR 15900-2:2009, a coleta deve ser feita com o auxílio de uma bomba de extração, no qual os dutos foram previamente lavados antes da coleta e os recipientes devem ser cheios. Caso não tenha bomba para auxiliar, o recipiente é totalmente submerso dentro d'água e aberto para entrada de água.

4.5 Análise física da água

4.5.1 Análise de parâmetros preliminares

4.5.1.1 Determinação do pH

Antes de realizar o ensaio, o equipamento (pHmetro AlfaKit AT - 315) foi calibrado. Para isso, o eletrodo foi inicialmente lavado com água destilada e previamente seco. Em seguida, foi mergulhado em uma solução tampão de pH conhecido e igual a 7. Foi então lavado novamente, e mergulhado em outra solução tampão, porém com o pH igual a 4, repetindo o processo de lavagem do eletrodo.

Feita a calibração, o eletrodo foi inserido na solução na qual desejava ser determinado o pH até cobrir a ponte salina do equipamento, de acordo com a ANBT NBR 9251:1986. Com isso, o pH foi indicado diretamente pelo aparelho.

4.5.1.2 Determinação da turbidez

O ensaio consistiu na incidência de uma luz branca na base do frasco, no qual foi medido o desvio da mesma em um ângulo de 90°. Esse valor foi então convertido para turbidez. Para isso, a amostra foi colocada em um frasco que foi lavado e seco para eliminar possíveis impurezas externas que poderiam interferir no resultado, e foi então colocado no equipamento (Turbidímetro Plus II Microprocessado AlfaKit) que fornecia diretamente o valor da turbidez. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NTS 008 da SABESP.

4.5.1.3 Determinação da cor

Para realizar o ensaio, o equipamento foi previamente calibrado utilizando amostras com diferentes padrões de cores já conhecidos. Em seguida, a amostra foi colocada na cubeta que estava limpa, para que possíveis sujeiras não interferissem na passagem de luz. A cubeta foi colocada no equipamento (Medidor de Cor II Alfakit), que realizou a leitura e indicou a cor da mostra.

4.5.2 Análise de sólidos totais voláteis

Para realizar o ensaio foi utilizado o Standard Methods ed. 2005, no qual foi realizada a preparação da cápsula, sendo esta lavada com água destilada, seca e calcinada a 550 ± 50 °C por uma hora na mufla. Em seguida, a cápsula foi transferida para o dessecador e colocada para esfriar até temperatura ambiente, sendo por fim, pesada.

Em seguida, a amostra foi colocada em um béquer, devendo ser homogeneizada com o auxílio de um bastão de vidro. Uma parte da amostra foi transferida para cápsula e seca em banho-maria e levada para a estufa a 105 ± 2 °C. Ao ser retirada, a cápsula foi levada ao dessecador para esfriar até a temperatura ambiente e pesada. Após isso, os resíduos da secagem foram levados em forno-mufla a 550 ± 50 °C por 30 minutos, transferido para o dessecador e por fim, pesado o conjunto da amostra e cadinho. Os sólidos totais voláteis foram encontrados pela diferença entre os sólidos totais e os sólidos totais fixos.

4.6 Ensaio do abatimento do tronco de cone

O ensaio foi realizado baseado na ABNT NBR NM 67:1998, no qual, inicialmente, foi umedecido o molde e a placa de base e colocado o molde sobre a placa. Ao preencher o molde com o concreto, foi posicionado com os pés sobre suas aletas, para mantê-lo estável. O molde foi então preenchido em três camadas com alturas aproximadamente iguais, no qual cada camada foi compactada com 25 golpes da haste de socamento. Por fim, a placa de base foi limpa e foi retirado o molde, levantando-o cuidadosamente na direção vertical.

4.7 Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova de concreto foram moldados seguindo a norma ABNT NBR 5738:2015. Para isso, foram utilizados moldes cilíndricos de dimensões iguais a 10 cm x 20 cm. Antes de moldar, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma camada de desmoldante para facilitar a retirada do corpo de prova. O concreto foi então colocado dentro dos moldes em duas de camadas de

volumes aproximadamente iguais, e em seguida, cada camada foi adensada utilizando uma haste, recebendo 12 golpes. Após o adensamento da última camada, foi realizado o rasamento da superfície com a borda do molde, utilizando uma colher de pedreiro.

Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e colocados em cura úmida até o dia de rompimento, nas condições definidas pela norma ABNT NBR 5739:2018.

A cura tem grande importância pois evita o surgimento de fissuras e trincas causadas pela retração, ocasionada pela evaporação da água de amassamento, e conseqüentemente, aumento da porosidade e da permeabilidade e redução na resistência à compressão. A ABNT NBR 14931:2004 fala que o processo de cura, caso seja feita de forma correta, evita a perda de água pela superfície e garante uma superfície com resistência apropriada, e, desse modo, protege o concreto contra ataques de agente externo.

A cura realizada nesta pesquisa é a mais tradicional, podendo facilmente ser encontrada nas obras e apresenta como vantagem evitar a molhagem frequente da superfície do concreto.

Por fim, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura na etapa de estudo da dosagem e 28 dias para os corpos de prova confeccionados com diferentes tipos de água para avaliar a resistência à compressão dos mesmos.

Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova foram limpas e o corpo de prova foi colocado cuidadosamente centralizado no prato inferior, com auxílio dos círculos concêntricos de referência. O carregamento do ensaio foi aplicado de forma contínua e sem choques, sendo interrompido quando ocorreu a ruptura do corpo de prova. A carga inicial foi de 20 kN e a velocidade de carga foi igual a 0,5 MPa/s.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do agregado

5.1.1 Teor de umidade

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de determinação do teor de umidade do agregado miúdo.

Tabela 7 - Dados do ensaio de determinação do teor de umidade

Amostra	Massa úmida da areia (g)	Massa seca da areia (g)	Teor de umidade (%)
1	10,43	10,31	1,164
2	10,53	10,44	0,862
3	10,48	10,41	0,672
4	10,46	10,38	0,771
5	10,15	10,06	0,895

Fonte: Autor (2019).

Analisando os dados obtidos, nota-se que o teor de umidade da areia em análise é igual a $0,873 \pm 0,184\%$. O teor de umidade deve ser descontado da quantidade total de água utilizada para confecção do concreto, sendo um importante parâmetro, pois interfere na relação a/c da mistura.

5.1.2 Massa específica

Os dados do ensaio de massa específica para os agregados estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados do ensaio de massa específica

Agregado	Massa do agregado (g)	Volume do agregado (ml)	Massa específica (kg/dm ³)
Miúdo	500,07	200	2,50
Graúdo	4005,6	1400	2,86

Fonte: Autor (2019).

A análise da massa específica do agregado é um importante parâmetro considerado na dosagem de concreto, servindo como fator para transformação do traço volume em massa ou vice-versa.

5.1.3 Análise granulométrica

A Tabela 9 apresenta a distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 9 - Análise granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Retido (g)	Retido (%)	Acumulado (g)	Acumulado (%)
4,8	18,59	1,87	18,59	1,87
2,4	29,32	2,95	47,91	4,82
1,2	84,05	8,45	131,96	13,26
0,6	171,06	17,19	303,02	30,45
0,3	314,20	31,58	617,22	62,03
0,15	273,08	27,45	890,30	89,48
0	104,69	10,52	994,99	100,00

Fonte: Autor (2019).

Percebe-se que o agregado apresenta um diâmetro máximo igual a 4,8 mm e módulo de finura igual a 2,02, estando na zona utilizável especificado pela ABNT NBR 7211:2009, sendo classificado como areia fina. Este tipo de areia é utilizado na construção civil, principalmente para utilização no reboco, podendo ser usado na confecção de concreto, entretanto, sendo mais indicado misturar com areia média e/ou grossa para melhorar a distribuição granulométrica do agregado.

A distribuição granulométrica do agregado miúdo deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 10. Porém, segundo a ABNT NBR 7211:2009, agregados com distribuição granulométrica fora das zonas delimitadas podem ser usados desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem que garantam sua aplicabilidade.

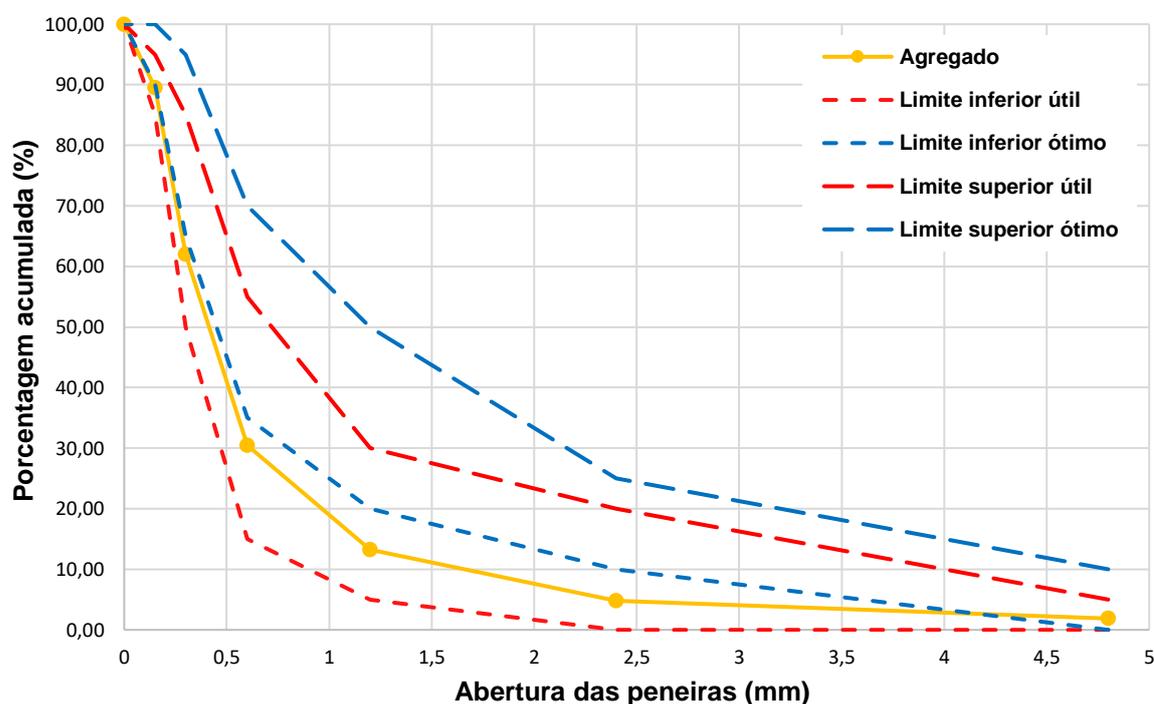
Tabela 10 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Limite inferior (%)		Limite superior (%)	
	Útil	Ótimo	Útil	Ótimo
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100
0	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2009).

A Tabela 10 apresenta os limites inferiores e superiores para verificar se o agregado miúdo está dentro dos limites útil ou ótimo para utilização para produção do concreto. Os valores apresentados são em porcentagem, retida acumulada, de massa.

O Gráfico 1 apresenta a curva de distribuição granulométrica para o agregado miúdo.

Gráfico 1 - Análise granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Autor (2019).

Apesar da distribuição dos grãos não estar uniforme, pois grande parte do material fica retido nas peneiras de abertura igual a 0,15mm e 0,3mm, a curva granulométrica está dentro do limite útil, podendo o agregado miúdo, ser utilizado para confecção de concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto dosado com agregados menores necessita de mais água de amassamento do que o com agregados maiores. Ao analisar a curva de Abrams, é possível concluir que aumento no fator a/c provoca uma redução na resistência à compressão, sendo, portanto, algo indesejado para o concreto.

A Tabela 11 apresenta a distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Tabela 11 - Análise granulométrica do agregado graúdo

Peneira (mm)	Retido (g)	Retido (%)	Acumulado (g)	Acumulado (%)
25	0	0	0	0
19	450,97	9,01	450,97	9,01
12,5	3119,67	62,30	3.570,64	71,31
9,5	1037,33	20,72	4.607,97	92,03
6,3	383,73	7,66	4.991,70	99,69
4,8	11,44	0,23	5.003,14	99,92
2,4	0,44	0,01	5.003,58	99,93
1,2	0,19	0,00	5.003,77	99,93
0	3,44	0,07	5.007,21	100,00

Fonte: Autor (2019).

Em relação ao agregado graúdo, pode-se concluir que o mesmo apresenta um diâmetro máximo igual a 19 mm, sendo classificado como Brita 2, sendo esta brita a mais indicada para utilização no concreto.

De maneira análoga ao agregado miúdo, a distribuição granulométrica do agregado graúdo deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 12, especificados na ABNT NBR 7211:2009.

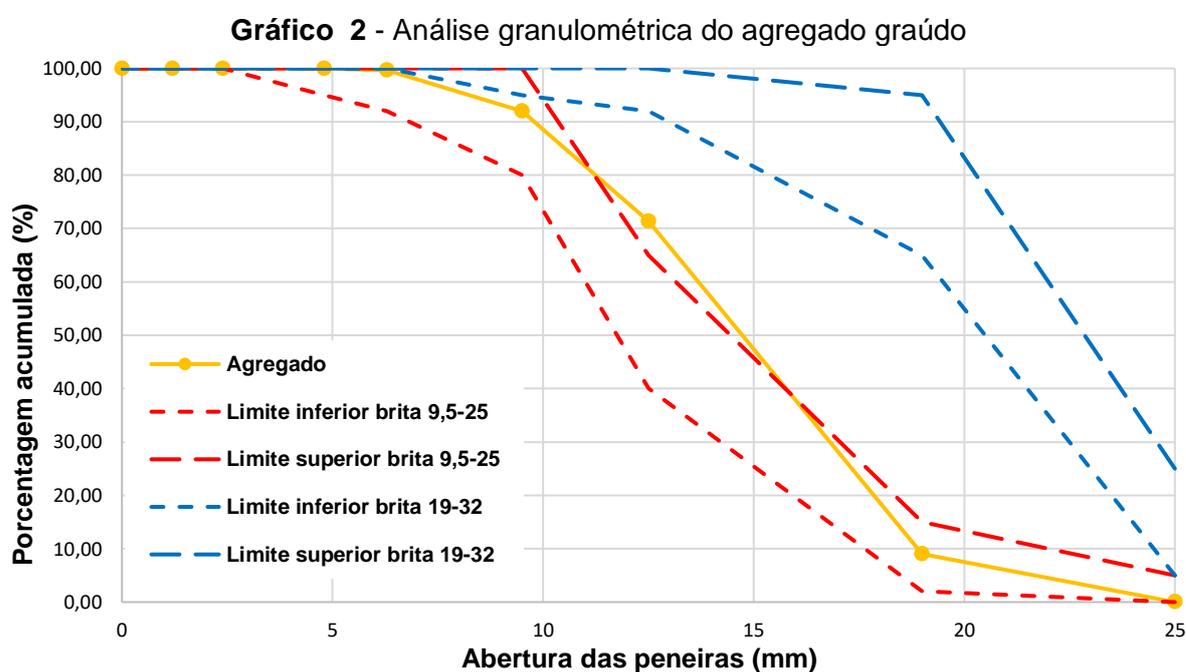
Tabela 12 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Limite Brita 9,5 / 25 (%)		Limite Brita 19 / 32 (%)	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
25	0	5	5	25
19	2	15	65	95
12,5	40	65	92	100
9,5	80	100	95	100
6,3	92	100	100	100
4,8	95	100	100	100
2,4	100	100	100	100
1,2	100	100	100	100
0	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2009).

Na Tabela 12, os dados apresentados estão em porcentagem de massa retida acumulada. As zonas granulométricas (d/D) estão relacionadas à menor (d) e à maior (D) dimensão do agregado graúdo. Além disso, de acordo com a norma, para cada zona, é permitida uma variação de 5% em um dos limites.

O Gráfico 2 apresenta as curvas de distribuição granulométrica para o agregado graúdo.



Fonte: Autor (2019).

De maneira análoga ao agregado miúdo, o agregado graúdo também não apresenta uma distribuição uniforme dos grãos, pois grande parte do material fica retido nas peneiras de abertura igual a 9,5 mm e 12,5 mm. Concretos fabricados com agregados maiores tendem a ter formação de microfissuras, ocasionando uma zona de transição da interface mais fraca, e conseqüentemente, redução na resistência à compressão do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

5.2 Definição do traço

Para escolha do traço, foram confeccionados corpos de prova com água de abastecimento urbano, que foram rompidos aos 7 e 28 dias de cura para verificar se a resistência à compressão calculada atendia à estimada do concreto para 28 dias de cura. Os dados obtidos estão expostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Resistência à compressão em relação com o fator água/cimento

Fator a/c	Resistência à compressão (MPa)	
	7 dias	28 dias
0,25	7,906	12,210
0,4	29,668	44,000
0,5	15,556	36,120

Fonte: Autor (2019).

Observa-se que apenas os traços cálculos para os fatores a/c iguais a 0,4 e 0,5 atenderam à resistência estimada do concreto para 28 dias de cura, sendo o traço escolhido na pesquisa, o com fator a/c igual a 0,4 por apresentar maior resistência à compressão.

5.3 Análise física da água

5.3.1 Análise de parâmetros preliminares

A água deve atender os limites apresentados na ABNT NBR 15900-1:2009. A água que não atender às exigências da norma pode ser usada apenas se for

comprovado que é adequada ao uso em concreto. As Tabelas 14 e 15 e o Quadro 03 apresentam os resultados da análise do pH, da turbidez e da cor da água, respectivamente.

Tabela 14 - Resultado da análise de pH da água

Amostra	pH
Abastecimento	8,96
Rebaixamento	7,46
Poço	8,74
Chuva	8,26
Betoneira	12,06

Fonte: Autor (2019).

A ABNT NBR 15900-1:2009 especifica que o pH deve ser maior do que 5, portanto, todas as amostras atendem o requisito. Segundo Neville (2016), o pH ácido não é indicado para utilização no concreto, podendo influenciar negativamente o endurecimento do mesmo.

Tabela 15 - Resultado da análise de turbidez da água

Amostra	Turbidez (NTU)
Abastecimento	1,31
Rebaixamento	6,20
Poço	1,17
Chuva	0,83
Betoneira	393,96

Fonte: Autor (2019).

A turbidez é uma propriedade que mede indiretamente a presença de materiais em suspensão no líquido. Desse modo, a turbidez da água para abastecimento varia no intervalo de 0,5 a 5. Analisando a Tabela 15, percebe-se que a água da lavagem de betoneira tem turbidez elevada, demonstrando assim, que essa água apresenta muitos sólidos.

Quadro 3 - Resultado da análise da cor da água

Amostra	Cor
Abastecimento	Incolor
Rebaixamento	Amarelo escuro
Poço	Incolor
Chuva	Incolor
Betoneira	Incolor *

* após sedimentação dos sólidos presentes na água

Fonte: Autor (2019).

Segundo a ABNT NBR 15900-1:2009, a cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor, exceto para a água recuperada de processos de preparação do concreto. Desse modo, apenas a água do rebaixamento do lençol freático não atende ao requisito disposto na norma.

5.3.2 Análise de sólidos totais voláteis

Os sólidos totais são resíduos que permanecem na água após sua coleta. Sua análise compreende os sólidos totais voláteis, fração que se perde após a calcinação, e fixos, fração que se perde após incineração em mufla. Os dados obtidos no experimento estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultado da análise de sólidos totais presentes na água

Parâmetro	Unidade	Amostra	Resultado
Sólidos totais fixos	mg/L	Abastecimento	136,67
		Rebaixamento	276,70
		Poço	123,33
		Chuva	153,33
		Betoneira	34.696,07
Sólidos totais voláteis	mg/L	Abastecimento	46,67
		Rebaixamento	60,00
		Poço	36,67
		Chuva	16,67
		Betoneira	96,67

Fonte: Autor (2019).

O limite máximo de sólidos totais é igual 50.000 mg/L, conforme a ABNT NBR 15900-1:2009. Ratificando o resultado da turbidez, a água recuperada da lavagem de betoneira apresenta grande quantidade de sólidos, estando, porém, abaixo do limite apresentado. Estes podem apresentar contaminações que afetam as características do concreto, considerado um possível agente causador de manifestações patológicas, sendo mais indicado utilizar água com menores quantidades de sólidos.

5.4 Ensaio de resistência à compressão

Para cada traço, foram moldados seis corpos de prova em laboratório. Após a confecção dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, aos 28 dias de cura. A Tabela 17 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão e do abatimento do tronco de cone.

Tabela 17 - Dados dos ensaios de resistência à compressão e do abatimento

Amostra	Resistência à compressão (MPa)	Abatimento (cm)
Abastecimento	37,046 ± 2,337	5
Rebaixamento	37,750 ± 1,071	2
Poço	37,189 ± 2,988	2
Chuva	33,940 ± 3,491	2,5
Betoneira	40,711 ± 1,382	3

Fonte: Autor (2019).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 17, destaca-se que todas as águas analisadas podem ser empregadas como água de amassamento na fabricação de concreto, pois atenderam à resistência à compressão mínima calculada na etapa de dosagem. Entretanto, deve-se considerar os efeitos provenientes das características físico-química da água para avaliar seu uso, visto que algumas substâncias presentes podem ocasionar problemas na estrutura como a corrosão da armadura e ataque de sulfatos (AL-JABRI et al, 2011).

Além disso, ressalta-se que o concreto fabricado com água de chuva foi o que apresentou maior redução na resistência à compressão, cerca de 8,38%, em relação ao concreto confeccionado com água de abastecimento urbano. Costa (2017) fala que

a redução da resistência à compressão de corpos de prova cimentícios confeccionados com água coletada de telhado cerâmico pode estar relacionada com a presença de impurezas e íons na água.

Enquanto a água que apresentou melhor resultado, quando comparada com a água de abastecimento urbano, foi a água recuperada de betoneira, cuja resistência à compressão apresentou um aumento de aproximadamente 10%. Segundo Malaguti, Mymrin e Matoski (2017), a água recuperada da lavagem de betoneira não provoca alterações na resistência à compressão do concreto, sendo os minerais dos resíduos encontrados na água, os mesmos presentes no cimento. Os autores ainda citam que o aumento na resistência à compressão é justificado pela presença de hidróxidos de cálcio (CaOH_2) e de sódio (NaOH) na água que proporcionam uma rápida hidratação do cimento ocasionado pelo aumento da alcalinidade.

De acordo com Su, Miao e Liu (2002), a água subterrânea e de lavagem de betoneira podem ser utilizadas para produção de concreto sem afetar a resistência à compressão, porém, outras propriedades do concreto, como o mecanismo de hidratação e durabilidade da estrutura, devem ser analisadas para avaliar os efeitos a longo prazo.

Em sua pesquisa, Borja (2017) concluiu que é viável utilizar água de poço para fabricação de concreto visto que a mesma apresentou resistência à compressão adequada, sendo uma ótima solução para locais que apresentam escassez hídrica.

Em relação ao ensaio de abatimento do tronco de cone, somente a água de abastecimento ficou dentro do limite estimado na dosagem (4 cm a 6 cm). Entretanto, o abatimento não influencia diretamente a resistência à compressão, sendo um parâmetro para medição da consistência do concreto, e, entre os fatores que ocasionam alterações do seu valor, estão o teor de ar da mistura e a temperatura do concreto e do ambiente, entre outros.

6 CONCLUSÃO

O reuso de água é uma prática pouco disseminada, mas com diversas vantagens que viabilizam sua aplicação. Entretanto, é necessário que essa seja regulamentada para que ocorra de modo correto e eficiente, visando diminuir a demanda de água potável, especialmente em regiões onde existe uma escassez de recursos hídricos.

A reutilização de água residuária para utilização como água de amassamento no concreto se apresenta como uma das possibilidades de prática do reuso. Nesse caso, a água deve ser previamente testada seguindo as normas, a fim de garantir a qualidade da mesma e evitar problemas futuros, entre eles, o surgimento de manifestações patológicas e diminuição da resistência à compressão.

As amostras de água de chuva, de poço e de lavagem de betoneira atenderam os parâmetros físico-químicos exigidos para água de amassamento. A água de rebaixamento do lençol freático não foi aprovada quanto a cor especificada. Entretanto, a norma ABNT NBR 15900:2009 aponta que, mesmo que a água seja reprovada nos ensaios preliminares, ela pode ser utilizada no concreto desde que atenda aos requisitos de tempo de pega e resistência à compressão.

No ensaio de resistência à compressão, o concreto que apresentou melhor resultado foi o confeccionado com a água coletada da lavagem de betoneira que apresentou um aumento de 9,89% na resistência à compressão em relação ao concreto confeccionado com água de abastecimento urbano, sendo este valor igual a $40,711 \pm 1,382$ MPa. Já a água com menor resistência, foi a de chuva, com resistência à compressão igual a $33,940 \pm 3,491$ MPa e com redução na mesma de 8,38% em relação à resistência à compressão do concreto confeccionado com água de abastecimento. As demais, apresentaram valores similares, sendo estes iguais a $37,75 \pm 1,071$ MPa para água de rebaixamento do lençol freático e $37,189 \pm 2,988$ MPa para a água coletada de poço. Além disso, todas as águas analisadas apresentam pelo menos 90% da resistência à compressão obtida para a água de abastecimento. Entretanto, para garantir efetivamente a aprovação de todos os tipos de água, as mesmas devem passar por outros ensaios químicos para detectar a presença de substâncias contaminantes. Caso não seja possível realizar tais ensaios, deve ser feito o ensaio de tempo de pega do concreto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Quantidade de água**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 25 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água subterrânea**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>. Acesso em: 24 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2019.

AL-JABRI, K. S.; AL-SAIDY, A. H.; TAHA, R.; AL-KEMYANI, A. J. Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 14, p.370-376, 2011.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21° ed. Washington, DC, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**. 1 ed. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Parâmetros da Dosagem Racional do Concreto**. 34° Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto - Parte 2: Coleta de amostras para ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9251: Água - Determinação do pH - Método eletrométrico - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregados miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

BABU, G. R.; RAMANA, N. V. Feasibility of wastewater as mixing water in cement. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.1607-1614, 2018. Elsevier BV.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 75-108, jan-abr. 2008.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed., v. 1. Minas Gerais: Editora LCT – Livros técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.

BORJA, R. T. F. **Análise da viabilidade de produção de concreto com água de poço em região de escassez hídrica no curimataú oriental paraibano**. 22f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas – um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 40 p.

CARDOSO, V. A. V. P. **Análise da viabilidade da reutilização das águas de lavagens dos caminhões betoneiras para produção de concreto**. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 008: Turbidez - Método de ensaio**. São Paulo, 1999.

COSTA, J. O. **Viabilidade técnica de água de chuva coletada de telhados para uso nos processos de preparo do concreto**. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

Declaração de Haia. In II Fórum Mundial da Água, Haia, 2000. Disponível em: <http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/haia.htm>. Acesso em: 17 abr. 2020.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria nº 2069 de 19 de setembro de 2014. Dispõe sobre a utilização de recursos hídricos, provenientes de rebaixamento de lençol freático em edificações e obras de construção civil. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 set. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - ME 213: **Solos - determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 1994.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Hydrological systems and sustainable water management**. 2016. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/hydrological-systems>. Acesso: 03 de abril de 2020.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. **Integrated Urban Water Management (IUWM): Toward diversification and sustainability**. 2013. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/policy-briefs/13-integrated-urban-water-management-iuwm.-toward-diversification-and-sustainability.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2020.

GONÇALVES, D. T. R. **Planejamento da execução de estruturas em concreto armado para edifícios: estudo de caso em obra com restrições e limitações operacionais**. 212 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 75-95, out/dez, 2002.

JÚNIOR, A. S. M.; RIBEIRO, K. A.; PEREIRA, C. D.; CHAVES, J. S.; CARLOS, M. A. M.; REIS, N. P. R. Análise do padrão de qualidade para reuso de água em canteiro de obras. **Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, São Paulo, v. 7, n. 1, p.40-59, 2019.

MALAGUTI, V. S.; MYMRIN, V. A.; MATOSKI, A. Reuso de água e resíduos de lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão em novos concretos. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, out. 2017.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, G. F. **Reuso de Água**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, 2014.

MORAES, L. T. T. S. **Análise de alternativas para disposição final da água de rebaixamento do lençol freático**. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, O. C.; MORAES, S. C. Desafios para a sustentabilidade na gestão dos serviços de abastecimento de água na Amazônia: aspectos socioambientais e econômicos do sistema de abastecimento de água na cidade de Macapá-AP. **ESPACIOS**, Caracas, v. 38, p. 01-13, 2017.

REBOUÇAS, A. C., BENEDITO, B., TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. 3 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2017.

REVENGA, C. Will there be enough water? In Pilot Analysis of Global Ecosystems: **Freshwater Systems**, World Resources Institute, 2000.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil: 2. ed.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1995.

SANDROLINI, F.; FRANZONI, E. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 31, n. 3, p.485-489, mar. 2001. Elsevier BV.

SANTOS, C. P.; SILVA, S. R.; CERQUEIRA, C. A. Water consumption in construction sites in the city of Recife/PB. **World Wide Web of Geotechnical Engineers**, [s.l.] 20, p.1711-1726, nov. 2015.

SEMPRESUSTENTÁVEL. **Aproveitamento de água de chuva de baixo custo para residências urbanas**. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SILVA, A. M. C. R.; LESSA, F. S. S.; MENDES, H. F.; COSTA, L. C. P; LIMA, S. F. Aproveitamento de águas pluviais. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 5, n. 1, p.69-78, nov. 2018.

SILVA, F. P.; CARVALHO, C. V. A.; CARDOSO, A. M. A importância de políticas públicas para a implementação do reuso de água no Brasil. **Episteme Transversalis**, Volta Redonda, v. 10, n. 2, p.309-320, 2019.

SILVA, M.; NAIK, T. R. **Sustainable use of resource – Recycling of sewage treatment plant water in concrete**. In: International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, II, 2010, Ancona, Itália: SCMT, p. 1731 - 1740, 2010.

SISTEMA DE AUTOAVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA HÍDRICA. **A disponibilidade de água no mundo e no Brasil**. Disponível em: <https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>. Acesso em: 17 abr. 2020.

SU, N.; MIAO, B.; LIU, F. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.777-782, maio, 2002. Elsevier BV.

TSIMAS, S.; ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.7-17, 4 jan. 2011. Emerald.

TUCCI, C. Indicador de sustentabilidade hídrica urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.7-7, 24 nov. 2017. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH.

VIANA, V.; COSTA, C. Dimensões da sustentabilidade envolvidas com a questão da água. **Revista NAU Social**, Salvador, v.6, n. 10, p. 23-33, 2015.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Water facts and trends**. Geneva, Switzerland: World Business Council for Sustainable Development, 2009.