



## **Estudo da viabilidade do uso de água pluvial em concreteiras: caminho para construções sustentáveis**

### **Study of the feasibility of use of rainwater in concrete plants: path for sustainable buildings**

DOI: 10.56238/isevmjv2n1-010

Recebimento dos originais: 03/02/2023

Aceitação para publicação: 27/02/2023

**Fabrcia Nunes de Jesus**

Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

E-mail: fabricia.jesus@uemg.br

**Agostinho Ferreira**

Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

E-mail: agostinho.ferreira@uemg.br

**Stephanie Rosane Da Silva**

E-mail: stephanie-rosane@hotmail.com

#### **RESUMO**

A água é um recurso natural essencial para a vida na Terra. Atualmente, um dos maiores problemas que afetam a humanidade é a escassez desse recurso, amplamente utilizado por toda a população. Nesta perspectiva, assegurar a sustentabilidade da água é garantir seu uso responsável, seu reaproveitamento e cuidado em manter sua pureza. Portanto, o uso da água da chuva é visto como um dos meios ecológicos e sustentáveis para evitar uma possível escassez de um recurso natural. O que motivou a elaboração desse trabalho foi o estudo sobre a viabilidade de uso da água de chuva para ser utilizada nos processos de concretagem sem comprometer sua resistência. Para isso, foram determinados os parâmetros de utilização das amostras coletadas em pontos pré-determinados; foram realizadas análises físico-químicas da água coletada; os corpos-de-prova de concreto foram confeccionados com água potável e de chuva e foram realizados ensaios de compressão para análise da resistência dos corpos-de-prova. Os valores obtidos a partir dos testes e ensaios realizados nas duas amostras de água de chuva coletadas, os parâmetros avaliados neste estudo obtidos através dos testes já citados, se mostraram satisfatórios e se enquadram nos padrões estabelecidos pela norma ABNT NBR 15900 para o uso de água da chuva no amassamento de concreto

**Palavras-chave:** Água pluvial, Viabilidade técnica, Concreto.

#### **1 INTRODUÇÃO**

A água é um recurso natural essencial para vida na Terra. Atualmente, um dos maiores problemas que afetam a humanidade é o da escassez desse recurso tão precioso e largamente utilizado por toda a população mundial, apesar de sua distribuição desigual. Segundo Boff (2012), é necessário frear com urgência a crescente escassez de água ocasionada pela sua má utilização.

Assegurar a sustentabilidade da água é garantir seu uso responsável, seu reuso e o cuidado na manutenção de sua pureza contra a contaminação. Apesar de 75% da Terra ser constituída de água, 97% dessa água não pode ser consumida e nem utilizada para a maioria dos processos que demandam recursos hídricos, pois possui alto teor de cloreto de sódio e o seu tratamento tem um custo elevado, o que dificulta a viabilidade da utilização. Uma das estratégias mais utilizadas para evitar a escassez d'água, pela viabilidade econômica e facilidade no processo, é o uso de cisternas. Elas são reservatórios que fazem a captação da água da chuva, que é armazenada e utilizada para usos domésticos e industriais, como limpeza de veículos e máquinas, serviços de limpeza no canteiro de obras, descargas para banheiros e mictórios, cura e confecção do concreto.

Esta pesquisa buscou demonstrar que o armazenamento da água de chuva representa uma grande contribuição para a preservação do meio ambiente, e pode ser facilmente utilizado para a demanda das concreteiras em diversos processos e atividades, levando sustentabilidade e possível redução de custos. Após estabelecida a importância da captação de água da chuva, foram levantados os seguintes questionamentos: qual o melhor método e qual a utilização viável para este recurso na área da concreteira? O uso da água de coleta pluvial ocasiona alguma mudança na resistência do concreto?

Diante do problema apresentado e da preocupação com a sustentabilidade do planeta, os profissionais do setor construtivo precisam adequar seus projetos priorizando o uso racional e consciente da água, e a criação de estratégias para captação e utilização deste bem.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

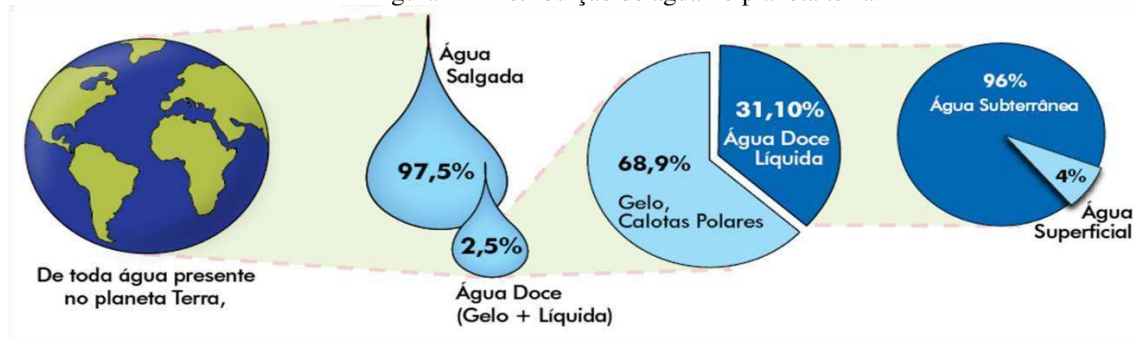
Nos tópicos a seguir serão apresentadas as referências teóricas fundamentais para desenvolvimento desta pesquisa.

### **2.1 RECURSOS HÍDRICOS**

A água é um recurso natural essencial para sobrevivência e desenvolvimento de todas as espécies da Terra. É um elemento abundante no planeta, representando 75% deste. Apesar dessa grande quantidade de água existente, apenas 2,5% são de água doce, dos quais quase 96% estão no subterrâneo, ou seja, somente uma parte mínima de todo este recurso está disponível de maneira fácil e própria para consumo.

Além da baixa disponibilidade de água potável, conforme representado na Figura 1, existem outros fatores que estão contribuindo diretamente para escassez deste recurso no planeta.

Figura 1 - Distribuição de água no planeta terra

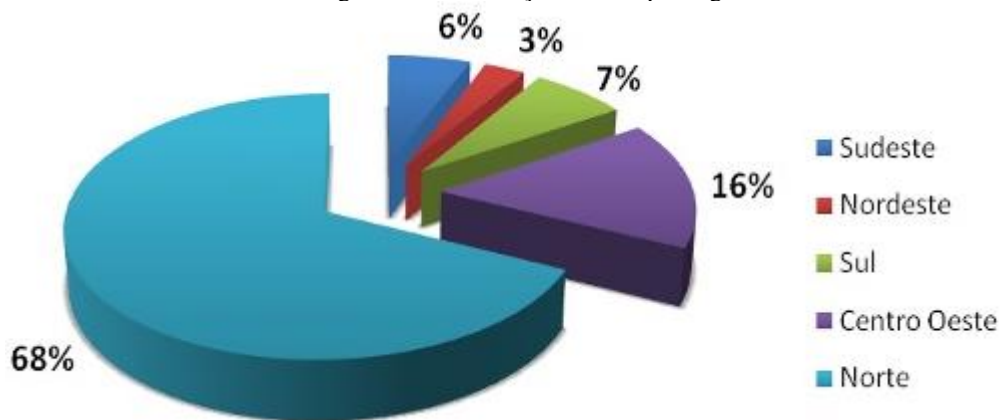


Fonte: MMA-SRHU, 2007.

## 2.2 SITUAÇÃO NO BRASIL

O Brasil tem uma localização privilegiada em relação à disponibilidade de recursos hídricos, porém, as reservas hídricas estão distribuídas de forma desproporcional em seu território. Segundo dados de 2016 do Congresso Brasileiro de Química, ilustrados na Figura 2, a região norte é a mais favorecida por recursos hídricos em sua localidade. Uma das maiores bacias fluviais do mundo está situada na Amazônia, porém possui uma menor densidade populacional se comparada com as outras regiões.

Figura 2 - Distribuição hídrica por regiões



Fonte: CBQ, 2016.

As regiões nordeste e sudeste sofrem maiores secas e escassez de água por apresentarem maior densidade populacional. A reutilização de água pode gerar benefícios ambientais, econômicos e sociais para a população onde está inserida, sendo uma opção sustentável para o aumento da oferta de água.

### 2.2.1 Situação no estado de Minas Gerais

Minas Gerais tem importância fundamental para o abastecimento de água e sucessivamente o fornecimento de energia elétrica no Brasil. Em seu território nasce algumas das principais bacias hidrográficas do Brasil.

“O Estado de Minas Gerais ficou conhecido como a ‘caixa d’água’ brasileira, numa referência à relevância das suas bacias hidrográficas. É produtor de água em seus 58,6 milhões de hectares. As principais bacias que compõem a rede hidrográfica do Estado são as dos rios Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e São Francisco”. (MG.GOV,BR, 2019, p.1)

A figura 3 demonstra a distribuição das Bacias Hidrográficas do estado de Minas Gerais:



Fonte: IGTEC - Instituto de Geoinformação e Tecnologia, 2014.

Devido às características de seu relevo, e outros aspectos, o estado apresenta condições termodinâmicas que resultam em diferentes regimes de chuvas dentro do seu território.

A estação chuvosa em Minas Gerais, assim como, em toda a Região Sudeste, ocorre entre os meses de outubro a março, porém as primeiras pancadas de chuva, normalmente ocorrem na segunda quinzena de setembro, evidenciando o declínio da estação seca (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET, 2017, p. 1).

O desenvolvimento urbano, a falta de saneamento, os vários tipos de poluição que afetam os rios e seus efluentes no Brasil e no mundo fazem com que as chuvas de maior intensidade ocasionem sérios problemas, como enchentes, desabamentos, doenças infecciosas, inundações, dentre outros.

### 2.3 CONSEQUÊNCIAS DA ESCASSEZ D'ÁGUA

Em decorrência da crise hídrica, são observadas várias consequências em nosso país e no mundo.

Atualmente mais de um bilhão de pessoas – ou seja, um em cada sete habitantes do planeta - carecem de acesso adequado a água potável. Mais de 40% da população do planeta viverá a curto prazo em regiões crescentemente afetadas por stress hídrico (JACOBI, 2016, p. 1).

De acordo com dados do Projeto Brasil das Águas:

- Um sexto da população mundial – mais de um bilhão de pessoas não têm acesso a água potável;
- 40% dos habitantes do planeta (2.9 bilhões – a estimativa da população em 2013 foi de 7.3 bilhões) não têm acesso a serviços de saneamento básico;
- Cerca de 6 mil crianças morrem diariamente devido a doenças ligadas à água insalubre e a saneamento e higiene deficientes; – Segundo a ONU, até 2025, se os atuais padrões de consumo se mantiverem, duas em cada três pessoas no mundo vão sofrer escassez moderada ou grave de água (PROJETO BRASIL DAS ÁGUAS, 2013, p. 1).

Considerando os textos supracitados, é iminente a escassez d'água, ocasionando uma série de consequências como: redução na produção de alimentos e matéria-prima para indústrias, o que provavelmente impactará a economia; impacto significativo no fornecimento de energia elétrica, o que encadeará crises sociais e industriais e danos irreversíveis ao meio ambiente, dentre outras.

### 2.4 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA PLUVIAL

Como consequência da elevação da degradação ambiental, contemplamos uma diminuição na disponibilidade de água e uma mudança na qualidade desta. A qualidade da água de captação pluvial pode se modificar de acordo com diversos itens, como: poluição atmosférica, contato da água no escoamento superficial, ou seja, limpeza da superfície de captação, manutenção da tela ou método de filtragem e armazenamento (JUSSARA, 2016).

A qualidade da água de chuva se deteriora quando passa sobre uma superfície de captação que pode ter contaminantes, folhas ou excrementos fecais, infectantes químicos podem dissolver durante a precipitação e lixiviar nos componentes do sistema de água de chuva, além de um

armazenamento de baixa qualidade. É muito importante que os usuários entendam os perigos e riscos potenciais de negligência na captação de água de chuva (HAN, 2012)

## 2.5 ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR O PROBLEMA DE ESCASSEZ D'ÁGUA

Nos dias atuais é extremamente importante colocarmos em pauta o assunto água, principalmente a possível falta dela. Pois há uma quantidade de água potável disponível na natureza limitada, em contrapartida, cerca de 97,61% da água total do planeta é oriunda das águas dos oceanos, ou seja, não potável.

De acordo com Aldo (2015): a cobiça pelo “ouro azul” é tanta que, nos últimos 50 anos, mais de 500 conflitos tiveram a água como motivo principal. “Mesmo assim, a questão fundamental não é a quantidade de água: por enquanto, consumimos apenas 12% do líquido disponível. O problema é o mau uso desse recurso. Isso, sim, pode agravar ainda mais a crise de abastecimento” (Aldo, 2015, p.1).

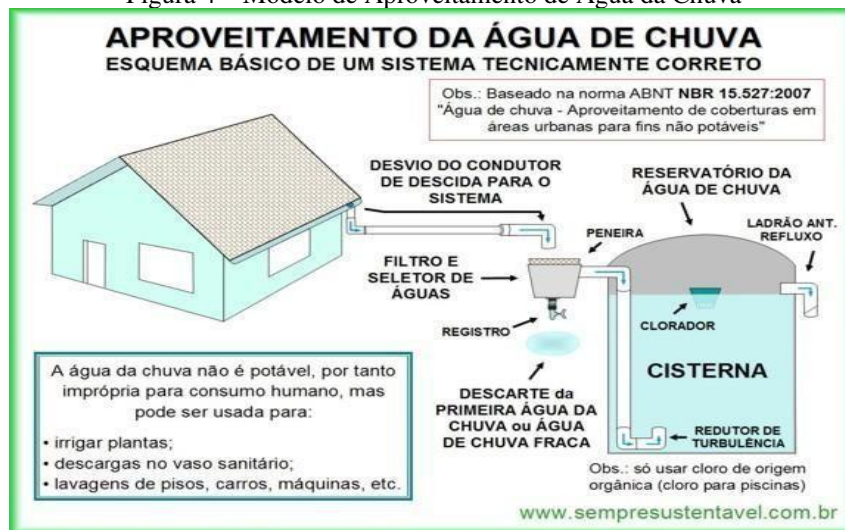
### 2.5.1 Utilização da água de chuva

A utilização das águas provenientes das chuvas surge como uma forma promissora, ecológica e sustentável para evitar uma possível insuficiência desde bem natural.

De acordo com Thomas (2010): falta de água é um dos graves problemas mundiais que pode afetar a sobrevivência dos seres humanos. O uso desordenado, o desperdício e o crescimento da demanda são fatores que contribuem para intensificar a escassez de água potável no planeta (THOMAS, 2010, p. 7).

Segundo Ferreira (2018): o aproveitamento da água de chuva tem se tornado uma alternativa na área urbana para residências e empresas privadas não apenas no sentido ambiental, mas também econômico. A utilização de água tratada para fins de irrigação de jardins ou mesmo de limpeza das áreas externas das residências pode ser substituída pela água de chuva armazenada. Nas indústrias, o uso da água da chuva para finalidade de limpeza e até no sistema produtivo, desde que não utilizada para fins alimentícios é uma alternativa interessante, principalmente quando a empresa utiliza água fornecida por uma concessionária e que implica em altos custos mensais. Embora em muitas situações o sistema de armazenamento não tenha grande capacidade volumétrica e a fonte de fornecimento de água da chuva não tenha uma periodicidade exata, a captação de água é interessante quando bem planejada e levado em consideração o consumo médio diário e a variabilidade temporal de ocorrência de chuvas. Uma das soluções adotadas para evitar a escassez d'água no mundo é a utilização da água da chuva, que pode ser realizada através do sistema de captação demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Modelo de Aproveitamento de Água da Chuva



Fonte: Site sempresustentável.com, 2019.

Para realizar um sistema completo de captação e aproveitamento da água de chuva, utilizam-se os seguintes equipamentos:

- Bacia Coletora (telhado): funciona como captadora da água de chuva;
- Calhas e coletores: reúne a água que vem do telhado;
- Filtro grosseiro: retém os resíduos sólidos, como galhos, folhas, e outras impurezas grosseiras;
- Filtros de areia: retém a maior parte dos contaminantes presentes na água bruta;
- Filtro desferrizador: remove o ferro e o manganês presente na água;
- Separador de Primeiras Águas: abstrai a primeira chuva;
- Unidade de desinfecção: garante a segurança sanitária de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, podem ser empregados: cloro, ozônio ou radiação ultravioleta;
  - Reservatório (cisterna): para acumular a água de chuva. O reservatório deve ser fechado para evitar entrada de sujeiras e da luz solar;
  - Sistema de Pressurização: bombas e sistema de segurança e automação para envio da água estocada para caixas de alimentação;
  - Caixas de alimentação secundária ou reservatório elevado
  - Rede de aproveitamento: tubulação exclusiva e independente para aproveitamento da água reservada. Não pode misturar com água de distribuição.
  - Verificação da qualidade da água (chuva ácida);
  - Tratamento da água, se necessário. (SUSTENTARQUI, 2015, p. 1).

## 2.6 Legislação pertinente ao reaproveitamento de água da chuva no concreto

Os parâmetros normativos presentes na legislação brasileira norteiam sobre o aproveitamento da água de chuva. Dentre eles, podem ser citadas as normas:

**ABNT NBR 15527:2007** - Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Esta norma fixa a aplicação prática sobre aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis;

**ABNT NBR 10844:1989** - Instalações prediais de águas pluviais - Esta Norma fixa as exigências necessárias aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando a garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia.

Já para a confecção do concreto seja realizada de forma correta e eficiente, são exigidos os seguintes padrões normativos:

**ABNT NBR 15900-1:2009** - Água para amassamento do concreto - Esta Norma (todas as partes) especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e descreve os procedimentos de amostragem, bem como os métodos para sua avaliação.

**ABNT NBR 7212:2012** - Execução de concreto dosado em central - Esta Norma estabelece os requisitos para a execução de concreto e inclui as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade e inspeção, incluindo critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto.

## 2.7 Concreto na construção civil

O concreto é o material mais usado na construção civil e tem em sua composição basicamente a mistura de pelo menos um aglomerante, no caso o cimento, agregados graúdos (pedras), agregados miúdos (areia), água, aditivos e adições (sílica ativa).

Existem vários traços do concreto, que dependem do que será construído e de onde será sua aplicação. No caso de uma fundação, o traço de concreto é de 5 latas de 18 L de areia, 6 latas de 18 L e meia lata de 18 L de pedra (agregado graúdo) e 1 lata de 18 L e meia de água para cada saco de cimento. Se o concreto será utilizado em pisos, paredes ou pilares por exemplo, os traços do concreto serão diferentes. O concreto deve seguir um padrão na escolha de seus produtos para chegar a um resultado satisfatório. Além de cuidados em sua produção, deve-se utilizar cimento de boa qualidade, pedra e areia limpas: sem argila, barro, materiais orgânicos e grãos que esfalem, umedecer as pedras quando expostas a uma grande insolação, bem como utilizar uma água limpa, sem materiais suspensos e em quantidade exata: o excesso diminui a resistência e a

falta de água cria buracos na mistura, e o fato de utilizarmos água de recolhimento pluvial (Anexo A) vem trazendo uma opção econômica e sustentável, que poderá proporcionar aumento do lucro mensal para concreteiras, diminuindo a conta de água em determinadas épocas do ano. A água também é utilizada em outros processos como a cura do concreto. (Caio, 2014).

De acordo com Diniz (2012): a cura é uma das principais etapas na execução do concreto e tem participação direta no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de cimento vedando o concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação (DINIZ, 2012, p. 1).

O Processo de cura poderia ser facilmente realizado com água de aproveitamento pluvial. A construção civil demanda muita água em seus processos e um dos melhores exemplos é a cura do concreto. Como a cura compreende uma série de procedimentos que objetivam manter a hidratação do cimento, utilizar a água da chuva é, portanto, uma das opções mais eficientes para a construção. Essas práticas adotadas em conjunto têm potencial não só para fazer com que a construção seja mais sustentável como, também, para gerar maior economia no projeto. Para comprovar tudo o que dissemos, basta verificar o custo de utilizar água das torneiras na obra e traçar um comparativo (Ralph, 2018).

### **3 METODOLOGIA**

Esta pesquisa, de natureza qualitativa e quantitativa, foi desenvolvida por meio de três componentes principais: levantamento bibliográfico, abordagens qualitativas e quantitativas. Em relação à sua natureza, este trabalho caracterizou-se como uma pesquisa aplicada que, de acordo com Gil (2010), é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica, no caso do presente trabalho a utilização da água de captação pluvial em diversos setores da construção civil.

De acordo com os objetivos planteados, esta pesquisa iniciou-se com uma pesquisa exploratória, pois, de acordo com Lakatos e Marconi (2011), esta constitui o primeiro estágio de toda pesquisa científica. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória visa possibilitar um maior conhecimento do problema e tem o intuito de construir hipóteses para o mesmo. A hipótese apresentada para este projeto de pesquisa visou proporcionar sustentabilidade e diminuição de custos dentro das concreteiras, através do aproveitamento da água de chuva em seus processos. Quanto aos procedimentos técnicos, foram realizadas pesquisas bibliográficas e experimentais, que permitiram selecionar variáveis que influenciaram o objeto de estudo (GIL, 2008).



Foram realizadas coletas das amostras de água na região de Itabira. A seguir, realizou-se a caracterização desse material, o que torna a pesquisa de abordagem quantitativa. Em uma pesquisa quantitativa, os dados são quantificados, ou seja, são expressos em números, e podem ser classificados (SILVA, 2014). No caso deste trabalho investigativo, foram realizados ensaios laboratoriais, sendo, à princípio, os ensaios físico-químicos.

#### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

O fluxograma mostrado na figura 5 ilustra todas as análises realizadas para a verificação da usabilidade da água de chuva na concretagem, cujas etapas serão detalhadas nos itens posteriores.



uso em concreto, todavia requer ensaios físico-químicos prévios. O material coletado que não foi imediatamente utilizado foi estabilizado e refrigerado em local apropriado para uso posterior.

#### 4.2 ANÁLISES E ENSAIOS

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de química da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade João Monlevade, onde foram realizados ensaios físico-químicos de Cloretos, Álcalis, Sólidos Totais, potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura, Turbidez, para avaliar a qualidade da água das amostras, certificando que elas sejam propícias para utilização no amassamento do concreto.

#### 4.3 MATERIAIS

Para este presente estudo, foram utilizados os seguintes materiais: água de captação pluvial; fenolftaleína; Indicador metilorange; Mistura indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila; Solução de ácido sulfúrico; Solução de tiosulfato de sódio; Solução-padrão de nitrato de prata; Solução indicadora de cromato de potássio  $K_2CrO_4$ ; Hidróxido de sódio; Cloreto de sódio; Solução-padrão de Cloroplatinato de Potássio; Papel absorvente; Soluções tampão de pH conhecido; Areia média; Brita 1 e Cimento CP II E – 32.

#### 4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A NBR 15900-1 (2009) é a norma que define os requisitos, avaliações e análises da água para amassamento de concreto. Tais parâmetros são apresentados no quadro 1.

Quadro 1 — Requisitos e procedimentos de ensaio para inspeção preliminar de água destinada ao amassamento de concreto		
Parâmetro	Requisito	Procedimento de Ensaio
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis	ABNT NBR 15900-3
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos	
Cor	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor, exceto para a água classificada em 3.3	
Material Sólido	Máximo de 50 000 mg/L	Para água de fontes classificadas no item 3.3, utilizar a metodologia do Anexo A ou ABNT NBR 15900-3. Para os demais tipos de água aplica-se o Projeto ABNT NBR 15900-3.
Odor	Água de fontes classificadas no item 3.3 não devem apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico	ABNT NBR 15900-3

	Água de outras fontes deve ser inodora e sem odor de sulfeto de hidrogênio, após a adição de ácido clorídrico	
Ácidos	pH ≥ 5	
Matéria Orgânica	A corda água deve ser mais clara ou igual à da solução padrão, após a adição de NaOH	

Fonte: ABNT NBR 15900-1, 2009.

Segundo a norma, dentre os pontos mais importantes a serem analisados na água que se deseja utilizar no processo de amassamento de concreto, encontram-se as seguintes propriedades químicas descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios químicos

Determinação	Método
Cloretos	ABNT NBR 15900-6
Álcalis	ABNT NBR 15900-9
Sólidos totais	ABNT NBR 15900-3
Potencial Hidrogeniônico	ABNT NBR 15900-3
Temperatura	ABNT NBR 15900-3
Turbidez	ABNT NBR 15900-3

Fonte: ABNT NBR 15900-1, 2009.

#### 4.4.1 Cloretos

O teor de cloreto na água de coleta pluvial não deve exceder os limites máximos estabelecidos na Tabela 2, para evitar possíveis manifestações patológicas posteriores.

Tabela 2: Teor máximo de cloreto em água para amassamento

Uso Final	Teor máximo de cloreto mg/L	Procedimento de ensaio
Concreto protendido ou graute	500	ABNT NBR 15900-6
Concreto armado	1000	
Concreto simples (sem armadura)	4500	

Fonte: ABNT NBR 15900-1, 2009.

#### 4.4.2 Álcalis

Se agregados potencialmente reativos com álcalis forem usados no concreto, a água deve ser ensaiada quanto aos teores de álcalis de acordo com ABNT NBR 15900-9 (2009). O equivalente alcalino de óxido de sódio não deve exceder 1500 mg/L.

#### 4.4.3 Sólidos totais

Os sólidos totais são determinados pela verificação da massa do resíduo de uma amostra de água, após evaporação e secagem até peso constante, a (103-105) °C. Os sólidos dissolvidos representam a quantidade de substâncias solubilizadas na água, que podem alterar suas propriedades físicas e químicas

#### 4.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para a utilização no amassamento do concreto é recomendada a utilização de águas com pH entre 6,0 a 8,0 ou no máximo 9,0, sem o sabor salobre. Geralmente é satisfatório o uso de água potável para amassamento.

#### 4.4.5 Temperatura

A temperatura é um dos fatores que afetam a cinética de reação na hidratação do cimento, portanto deve-se aferir uma temperatura de até 30 °C, o que é estipulada pela norma.

#### 4.4.6 Turbidez

A turbidez representa a quantidade de luz refletida pelas partículas em suspensão. Desta forma, quanto maior a intensidade de luz espalhada, maior será a turbidez da amostra analisada.

#### 4.4.7 Contaminação prejudicial

Contaminações na água de amassamento do concreto por substâncias como açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco podem alterar os tempos de pega e resistências do concreto. Para aprovação da água quanto a esses contaminantes, podem ser executados ensaios quantitativos de detecção de açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco, respeitando os limites máximos estabelecidos na Tabela 3. Na ausência desses ensaios ou quando os limites estabelecidos na Tabela 3 não forem atendidos, devem ser realizados os ensaios de tempo de pega, inicial e final, e resistência à compressão em amostras de referência e paralelamente com a água em ensaio.

Tabela 3: Requisitos para substâncias prejudiciais

Substâncias	Teor máximo (mg/L)
Açúcares	100
Fosfatos, expressos como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100
Nitratos, expressos como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	500
Chumbo, expresso como Pb <sup>2+</sup>	100
Zinco, expresso como Zn <sup>2+</sup>	100

Fonte: ABNT NBR 15900-1, 2009.

#### 4.5 TESTES DE COMPRESSÃO AXIAL DOS CORPOS DE PROVA

Após a aprovação nas análises químicas realizadas com as amostras de água pluvial, coletadas nas localizações 1 e 2, sendo localização 1 no bairro Bethânia e localização 2 no bairro João XXIII, foram moldados corpos de prova utilizando essas amostras conforme apresentado na figura 9. Para avaliar a resistência à compressão de cada amostra, foram realizados ensaios aos 7 e 28 dias de cura dos corpos de prova, segundo determina a NBR 7215 (1996). Segundo a NBR 15900, a resistência média, para as duas idades, deve alcançar pelo menos 90% da resistência à compressão média de corpos de prova preparados com água potável. A tabela 4 apresenta o traço utilizado para confecção dos corpos de prova.

Tabela 4 - Traço em volume do concreto –  $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$

Traço em volume (cimento/areia média/brita1)	Relação água/cimento
1 : 1,61 : 1,87	0,47

Fonte: O autores, 2021.

A figura 10 a) apresenta os corpos de prova que foram confeccionados e 10 b) mostra o ensaio de abatimento (Slump test) no tronco de cone para a determinação da consistência e fluidez do concreto. O ensaio foi produzido conforme a ABNT NBR NM 67:1996 seguindo todos os requisitos estabelecidos.

Figura 10 a) Confeção dos corpos de prova e b) Ensaio de Abatimento



Fonte: O autores, 2021.

Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados na Prensa Hidráulica Elétrica, marca Solocap, no laboratório da Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI – Campus Itabira/MG, com a qual foi estabelecida uma parceria para execução deste processo.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram realizadas análises físico-químicas, com a finalidade de determinar se as amostras de água coletadas atendem aos parâmetros básicos estabelecidos pela norma NBR 15900. A tabela 05 apresenta os valores de referência normativa e os resultados das análises físico-químicas.

Tabela 5: Parâmetros físico-químicos testados nas amostras de água

Natureza do Parâmetro	Parâmetro	Valores Norma	*Valores Amostra 1	*Valores Amostra 2
Físicos	Turbidez	40,0 uT	1,44 uT	3,08 uT
	Sólidos Totais	50,000 mg/L	32,333 mg/L	36,534 mg/L
	Cor	Amarelo Claro a Incolor	Incolor	Incolor
	Óleos e Gorduras	Não mais que traços visíveis	Sem traços visíveis	Sem traços visíveis
	Detergente	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 Min	Sem presença de espuma	Sem presença de espuma
Químicos	Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,0 a 9,0	6,2	7,01
	Temperatura	30 °C	21,1 °C	27,1 °C
	Cloretos	4500,00 mg/L	2,49922 mg/L	0,99969 mg/L
	Alcalinidade Total	1500,00 mg/L de CaCO <sub>3</sub>	40 mg/L de CaCO <sub>3</sub>	40 mg/L de CaCO <sub>3</sub>

Fonte: Os autores, 2021.

O valor máximo de turbidez estabelecido por norma é de até 40 uT. Através dos ensaios foram obtidos os valores 1,44 uT e 3,08uT para as amostras 1 e 2 respectivamente, atendendo à norma ABNT NBR 15900-3. Para sólidos totais em suspensão, o valor determinado pela norma é de até 50,000 mg/L. Por meio de ensaios foram obtidos os valores 32,333 mg/L e 36,534 mg/L para as amostras 1 e 2 respectivamente, satisfazendo à norma ABNT NBR 15900-3. Foi observado através de análise visual que as amostras apresentam aspecto incolor, sendo compatível com a NBR 15900-3 que especifica que a água deve ter cor entre amarelo claro e incolor. Também por análise visual foi notado que as amostras continham traços não mais que visíveis de óleos e gorduras, e no teste visual de presença de detergentes observou-se que as amostras não apresentavam espuma.

A temperatura máxima estabelecida por norma ABNT NBR 15900-3, é 30°C, as amostras 1 e 2 testadas se encontravam com valores de 21,1°C e 27,1°C respectivamente. O valor pré-determinado de Cloretos segundo a ABNT NBR 15900-6 máximos é 4500,00mg/L, as amostras 1 e 2 obtiveram após testadas o teor de 2,49922 mg/L e 0,99969 mg/L respectivamente. Por fim, os

testes de Alcalinidade total ensaiaram um valor de 40 mg/L de CaCO<sub>3</sub> ambos, sendo o valor máximo permitido pela ABNT NBR 15900-9 é de 1500,00 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

### 6.1 ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram rompidos nos dias 13 de janeiro e 3 de fevereiro de 2021, após 07 e 28 dias do processo de cura, respectivamente. A figura 11 demonstra alguns corpos de prova confeccionados com as duas amostras d'água recolhidas na cidade de Itabira-MG, pós rompimento com 28 dias de cura. Os corpos foram rompidos utilizando a Prensa Hidráulica Elétrica.

Figura 11 – Corpos de prova pós-rompimento



Fonte: Os autores, 2021.

A resistência à compressão do concreto ( $f_c$ ) que é dada em Mpa, deve ser calculada segundo expressão matemática definida na NBR 5739, sendo necessários a força máxima alcançada no carregamento e o diâmetro do corpo de prova moldado. Conforme a expressão mostrada a seguir:

$$f_c = (F/A)$$

Cada corpo de prova possui 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura.

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

Portanto, a Área da base do corpo de prova é 78,5 cm<sup>2</sup>.Então:

$$f_c = 10^2 \times (\text{Carga de ruptura}/78,5)$$

A tabela 5 apresenta os resultados calculados após o ensaio de resistência à compressão.

Tabela 6: Valores da Tensão de Ruptura e Carga de Ruptura obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão nas seguintes amostras

Concreto fck = 25 Mpa			
Amostra	Idade	Tensão de Ruptura	Carga de Ruptura
Água Potável	7 dias	22,6	17,741 Kgf/cm <sup>2</sup>
	28 dias	29,85	23,432 Kgf/cm <sup>2</sup>
Água de Chuva - 01	7 dias	20,7	16,249 Kgf/cm <sup>2</sup>
	28 dias	29,3	23,000 Kgf/cm <sup>2</sup>
Água de Chuva - 02	7 dias	20,4	16,014 Kgf/cm <sup>2</sup>
	28 dias	27,8	21,823 Kgf/cm <sup>2</sup>

Fonte: O autores, 2021.

Ao observar os resultados do rompimento dos corpos de prova realizados utilizando as duas amostras de água de captação pluvial, foi observado que a resistência do concreto atenderia ao critério de resistência média estipulado pela NBR 15900, a qual prevê que em 7 e 28 dias, deve alcançar pelo menos 90% da resistência à compressão média de corpos de prova preparados com água potável. O gráfico mostrado na figura 12 apresenta a resistência dos corpos de prova confeccionados com água potável comparados aos feitos com água de chuva demonstra uma pequena variação que se enquadra nos limites normativos.

Figura 12: Comparativo: Resistência x Idade dos corpos de prova, a) de 7 dias e b) 28 dias



Fonte: Os autores, 2021.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A NBR 15900 especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e descreve os procedimentos de amostragem, bem como os métodos para sua avaliação.

Após realizar os procedimentos necessários para o uso das amostras de água pluvial na confecção de concreto, os resultados obtidos indicaram que tanto nas análises físico-químicas quanto os ensaios de resistência dos corpos de prova confeccionados se mostraram satisfatórios. Dessa forma, é possível dizer que a água atende às exigências determinadas pela norma ABNT NBR15900. Diante dos fatos supracitados é possível dizer que as amostras de água coletada nos pontos de captação na cidade de Itabira no mês de novembro de 2019, poderiam ser utilizadas nos processos de concretagem. Entretanto, é preciso mencionar que estudos prévios precisam ser conduzidos antes do uso das águas para fins de confecção de concreto, visto que a região de Itabira é caracterizada por alta emissão de gases, o que poderia diminuir o pH das águas de chuva, e conseqüentemente, afetar a resistência do concreto. Todavia o presente estudo mostra-se promissor, e seu aprofundamento em mais pesquisas poderia gerar consideráveis avanços na área da engenharia civil, mais precisamente na construção civil dita sustentável. Em estudos futuros ainda, sugere-se que sejam estudados os parâmetros de Sulfetos e Sulfatos das amostras, que estão previstos na legislação para garantir a qualidade da água usada para a finalidade de uso em concreto armado, evitando dessa forma uma possível corrosão da armadura.



## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844 - **Instalações prediais de águas pluviais**. 1989.

15527 - **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**. 2007.

15900 - **Água para amassamento do concreto Parte 1**. 2009.

7212 - **Execução de concreto dosado em central**. 2012.

7215 - **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. 1996.

5739 - **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 2018.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.

DINIZ, H. **Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades**. VII CONNEPI (Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação), 2012.

Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/2954/2183>>. Acesso em: 15/05/2019.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, Editora Atlas 2010, 5ª Edição.

JACOB, P. **Água e Sustentabilidade desafios, perspectivas e soluções**. São Paulo, Editora: IEE-USP e Reconnectta, 2017. 1ª Edição.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Metodologia científica**. São Paulo. Editora: Atlas, 2011. 6ª Edição.

MAGALHÃES, A. **Crise hídrica no Brasil**. Toda matéria, 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/crise-hidrica-no-brasil/>>. Acesso em: 12/05/2019.

SANTOS, A. **Água da chuva para produzir concreto. É possível?** Cimento Itambé. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/agua-da-chuva-paraproduzir-concreto/>>. Acesso em: 15/05/2019.

Sem autor: **Aproveitamento de água da chuva: para uso não potável**. Redação SustentArqui, 2015. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/aproveitamento-de-agua-de-chuva-para-uso-nao-potavel/>>. Acesso em: 14/05/2019.

Sem autor: **A importância da água**. Projeto Brasil das águas. Disponível em: <<http://brasildasaguas.com.br/educacional/a-importancia-da-agua/>>. Acesso em: 08/05/2019.

Sem autor: **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: 08/05/2019.



Sem autor: **Bacias Hidrográficas**. Divisão de Sistema da Informação do Setor de Geoprocessamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2019. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/baciashidrograficas>>. Acesso em: 14/05/2019.

Sem autor: **Distribuição da água na terra**. Fonte Hídrica, Recife/PE, 2011. Disponível em: <<http://fontehidrica.blogspot.com/2011/11/distribuicao-da-agua-naterra.html>>. Acesso em: 07/05/2019.

Sem autor: **Estação chuvosa em Minas Gerais**. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Belo Horizonte/MG, 2017. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/notas\\_tecnicas/2017/OUTUBRO/Nota\\_tecnica\\_CED\\_EC\\_04\\_17.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2017/OUTUBRO/Nota_tecnica_CED_EC_04_17.pdf)>. Acesso em: 14/05/2019.

Sem Autor: **Análises físico-químicas em água**: Portal da educação -São Paulo/SP, 2020. Disponível em: <<https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/nutricao/analises-fisico-quimicas-em-agua/40946>>. Acesso em: 20/02/2021

SILVA, A.M.; MATOS, I.S. **O tratamento de água: importância e aplicação sua reutilização na indústria**. CBQ (Congresso Brasileiro de Química), 2016. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/5/9481-19365.html>>. Acesso em: 08/05/2019.

SILVA, E.L. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis, UFSC, 2005, 4ª Edição.

THOMAS, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Editor Plinio Thomas, 2010.