



UNICEPLAC

CENTRO UNIVERSITÁRIO

Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos - UNICEPLAC

Curso de Engenharia Civil

Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo da viabilidade do uso de água pluvial tratada na produção de
concreto em pequena escala

Gama-DF
2021

GABRIEL CONDE MARCA
LUMA JOYCE DE CASTRO OLIVEIRA

Estudo da viabilidade do uso de água pluvial tratada na produção de
concreto em pequena escala

Monografia apresentada como requisito para
conclusão do curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário do Planalto Central
Apparecido dos Santos – Uniceplac.

Gama-DF
2021

M313

Marca, Gabriel Conde. Oliveira, Luma Joyce de Castro.
Estudo da viabilidade do uso de água pluvial tratada na
produção de concreto em pequena escala / Gabriel Conde Marca,
Luma Joyce de Castro Oliveira. – 2021.

47 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Centro
Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos -
UNICEPLAC, Curso de Engenharia Civil, Gama-DF, 2021.
Orientação: Prof. Me. Maycol Moreira Coutinho.

1. Aproveitamento. 2. Água pluvial. 3. Concreto. I. Oliveira,
Luma Joyce de Castro. II. Título.

CDU: 624

**GABRIEL CONDE MARCA
LUMA JOYCE DE CASTRO OLIVEIRA**

Estudo da viabilidade do uso de água pluvial tratada na produção de concreto em pequena escala

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos – Uniceplac.

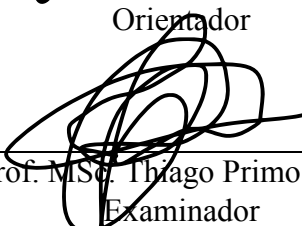
Orientador: Prof. MSc. Maycol Moreira Coutinho

Gama, 06 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora


Prof. MSc. Maycol Moreira Coutinho

Orientador


Prof. MSc. Thiago Primo Sousa

Examinador



Prof. DSc. Vinícius Curcino Carvalho Vieira

Examinador

Dedicamos este trabalho a todos os nossos familiares, amigos e professores que nos deram força e apoio ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus por ter nos amparado e dado toda a força necessária para caminhar nessa jornada e conseguir conquistar tudo que temos.

Em segundo lugar, agradecemos as nossas famílias, por serem nossos motivos para nunca desistirmos, além de sempre terem nos apoiado e acreditado em nosso potencial.

Agradecemos também aos nossos orientadores e professores por sempre terem ofertado todo o apoio possível, além de serem uma referência do tipo de profissional que almejamos ser.

E por fim, agradecemos um ao outro, pelo aceite em trabalhar juntos nessa proposta de trabalho, que se saiu mais desafiador do que o imaginado, e mesmo assim, não desanimamos e nem desistimos.

RESUMO

A presente monografia tem como intuito estudar a viabilidade e avaliar os impactos causados no concreto ao utilizar água pluvial tratada em seu processo de fabricação em pequena escala. A NBR 15900 (ABNT, 2009) explica que a água pluvial pode ser utilizada para fabricação de concreto, mas deve ser analisada para verificar se atende aos requisitos estabelecidos pela norma, então foi necessário instalar um sistema de coleta, armazenamento e tratamento da água. O método de tratamento adotado foi o do filtro de múltiplas camadas, utilizando areia média, brita 0, carvão ativado e manta geotêxtil. Foi produzido corpos de prova de concreto com água fornecida pelo sistema de abastecimento público e com água pluvial tratada, para compará-los foi adotado o ensaio de compressão, que ocorreu nos dias 3, 7, 14 e 28 após a sua fabricação. Foi analisada a água pluvial, antes e depois do tratamento, e a água potável da UNICEPLAC - Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, no qual foi comprovado a eficiência do tratamento da água, pois atende a NBR 15900 e a resolução CONAMA nº 357 de 2005, nos testes a qual a água foi submetida, que foi o de pH, turbidez, presença de sólidos e condutividade elétrica, sendo que a água pluvial tratada apresentou características mais favoráveis do que a água potável analisada. O concreto com água pluvial tratada apresentou resultados positivos, superando o do concreto convencional nos dias 7 e 28, além de atender ao requisito da NBR 15900, no qual exige que o concreto fabricado com água de origem distinta ao do abastecimento público atinja a resistência maior ou igual a 90% comparado ao concreto fabricado com água destilada ou deionizada. Com isso é possível comprovar a eficácia da proposta adotada aos ensaios que foram realizados, mas ainda se faz necessário testes complementares para atestar a sua eficácia total.

Palavras-chave: Aproveitamento. Água pluvial. Concreto. NBR 15900. Corpos de prova.

ABSTRACT

This monography have the intent to study the viability and evaluate the impacts caused on concrete by the utilization of treated rainwater in your fabrication process in small scale. The NBR 15900 (ABNT, 2009) says that the rainwater can be used to manufacture the concrete but must be analized to verify if it meet the requiriments established by the regulation, so was necessary install a colect, storage and treatment system of the water. The treatment method used was the multiple layers filter, with medium sand, gravel 0, activated charcoal and geotextile fabric. Concrete specimens was produced with water provided by the public water system and treated rainwater, to compare them was adopted the compression test, that occurred in days 3, 7, 14 and 28 after your fabrication. The rain water was analized, before and after the treatment, and the drinking water from Uniceplac (University Center of Planalto Central Aparecido dos Santos) which was proved the efficiency of the water treatment because meets the NBR 15900 and the resolution of Conama n° 357 of 2005, in the tests of pH, turbidity, presence of solids and eletric conductivity that the rainwater was submeted, wherein the treated rainwater presented better results than the analized drinking water. The concrete with treated rainwater showed positive results, surpassing the convencional concrete in the days 7 and 28, in addition to meets the requiriments of NBR 15900, in wich requires that any concrete manufactured with other source of water than the public water system needs to have it resistance greater or equals to 90% compare to concrete made with distilled water of deionized. Thereby is possible to prove the partial efficiency of the adopted proposal but it is still necessary complements tests to prove it total efficiency.

Keys: utilization. Rainwater. Concrete. NBR 15900. Specimens.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Detalhe da instalação da caixa d'água para coleta de água pluvial.....	23
Figura 2 – Representação do sistema de filtragem de camadas múltiplas.....	24
Figura 3 – Medidor de pH e soluções para calibrar o equipamento.....	25
Figura 4 – Turbidímetro Digital.....	25
Figura 5 – Medidor de Sólidos e Condutividade Elétrica.....	26
Figura 6 – Embalagem do cimento utilizado.....	27
Figura 7 – Betoneira realizando a mistura do concreto.....	27
Figura 8 – Concretagem do corpo de prova.....	27
Figura 9 – Tanque de cura dos corpos de prova.....	27
Figura 10 – Curva de Abrams.....	28
Figura 11 – Rompimento do corpo de prova - 27/08/2021.....	32
Figura 12 – Rompimento do corpo de prova - 31/08/2021.....	32
Figura 13 – Corpo de prova rompido - 14/09/2021.....	32
Figura 14 – Corpo de prova rompido - 21/09/2021.....	32
Figura 15 – Água da chuva tratada para a fabricação do concreto.....	33
Figura 16 – Aditivo superplastificante.....	33
Figura 17 – Adição da água pluvial tratada na fabricação do concreto.....	33
Figura 18 – Moldes dos corpos de prova.....	33
Figura 19 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.....	38
Figura 20 – Corpo de prova rompido - 01/10/2021.....	39
Figura 21 – Esboço dos tipos de ruptura.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Determinar o consumo de água em função do abatimento e da dimensão máxima do agregado graúdo.....	29
Tabela 2 – Ensaio de granulometria da areia para obter o módulo de finura.....	29
Tabela 3 – Volume compactado seco do agregado graúdo por m ³ do concreto em função do módulo de finura da areia e da dimensão máxima do agregado graúdo.....	30
Tabela 4 – Traço do concreto utilizado.....	31
Tabela 5 – Parâmetros estabelecidos pela NBR 15900-1.....	37
Tabela 6 – Parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005.....	37
Tabela 7 – Resistência ao esforço de compressão.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise dos valores de pH.....	34
Gráfico 2 – Análise dos valores de turbidez.....	35
Gráfico 3 – Análise da eficiência de remoção da turbidez.....	35
Gráfico 4 – Análise dos valores de sólidos.....	36
Gráfico 5 – Análise dos valores de condutividade.....	36
Gráfico 6 – Resistência à compressão do concreto com água potável e concreto com água pluvial tratada.....	40
Gráfico 7 – Concreto com água potável x Concreto com água pluvial tratada.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADVA	Aditivo Superplastificante base policarboxilatos para concreto
a/c	Relação água-cimento
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP II F - 32	Cimento Portland composto com Fíler
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FMC	Filtro de Múltiplas Camadas
g	Grama
h	Hora
IES	Instituição de Ensino Superior
L	Litro
L/H	Litro por Hora
kg/m ³	Quilograma por Metro Cúbico
MF	Módulo de Finura
mg/L	Miligramma por Litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	MegaPascal
min	Minuto
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosur
n°	Número
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Parte por Milhão
PVC	Policloreto de Vinil
SiO ₂	Dióxido de Silício
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UNICEPLAC	Centro Universitário do Planalto Central Aparecidos dos Santos
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
µm	Micro metro

μs

Micro sines

°C

Graus Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo geral.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Problema	15
1.4 Hipótese	15
1.5 Justificativa	15
2. REVISÃO LITERÁRIA	16
2.1 Água	16
2.2 Água pluvial e como tratá-la.....	17
2.3 Concreto	19
2.4 Influência da água no concreto	21
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.1 Filtro para tratamento de água pluvial	22
3.1.1 Captação da água pluvial	22
3.1.2 Montagem dos Filtros	23
3.1.3 Teste da água pluvial coletada pré e pós-tratamento	24
3.2 Fabricação de corpos de prova no método tradicional	26
3.3 Fabricação dos corpos de prova com água pluvial tratada	33
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

No planeta Terra temos aproximadamente 75% da sua superfície recoberta por água. Branco (1993) diz que "o planeta Terra, que por muitas vezes é referido como o planeta água, possui três quartos da sua superfície recoberta por água". No entanto, a quantidade de água adequada para consumo humano é muito inferior ao seu total, segundo Rebouças (2004), apenas 0,3% da água do mundo está acessível para o homem.

A indústria da construção civil é uma das que mais consomem água, de maneira excessiva e sem supervisão. Segundo Gama et. al. (2016), a água não é considerada como material de construção civil, mesmo que ela seja utilizada em larga escala nos canteiros de obras. Estima-se que cerca de 17% da água potável é destinada para a indústria da construção civil, sendo que em países mais desenvolvidos esse valor chega a 25% (PEREIRA, 2008). Para Bertuzzi (2008), o aproveitamento de água da chuva seria uma alternativa que traria resultados eficientes para reduzir o consumo excessivo de água nos canteiros de obras.

De acordo com a ABNT NBR 15900-1: Água para amassamento de concreto – Parte 1: Requisitos (2009), a água pluvial pode ser utilizada para fabricação de concreto, mas deve ser ensaiada antes, para ter a certeza que essa água é adequada para esse fim. Essa mesma norma define os parâmetros e ensaios a serem realizados para determinar a qualidade da água.

Tendo isso em mente, a proposta é estudar o impacto da utilização de água pluvial tratada na fabricação de concreto, analisar a qualidade dessa água e discutir os resultados encontrados. O foco é comprovar se pode ser utilizada outra água além da que é distribuída pelo abastecimento público, e caso a proposta seja comprovada, seria mais um motivo para que adotar medidas que visem ter maior controle do consumo de água nos canteiros de obras e nas indústrias de concreto, para evitar desperdícios, ter um consumo mais consciente e reduzir no que for possível.

1.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade do uso de água pluvial tratada na produção de concreto em pequena escala.

1.2 Objetivos específicos

- Propor um sistema de tratamento de água pluvial, para que a água quando filtrada atenda aos requisitos da NBR 15900;
- Analisar a água pluvial antes e após o tratamento;

- Fabricar concreto com água potável e com água pluvial tratada;
- Avaliar a diferença entre o concreto com água potável e água pluvial, através de ensaios de compressão.

1.3 Problema

De acordo com Costa (2017), a água é um recurso que se torna cada vez mais escasso, por conta do uso excessivo e poluição de mananciais. Por esta razão, tem-se buscado cada vez mais, soluções que combatam esse problema de forma economicamente viável e sustentável.

A crise hídrica no Distrito Federal, que teve seu ápice nos anos de 2017 e 2018, também é outro exemplo de um grande problema que pode ser impedido de voltar a acontecer caso as medidas de redução, reuso e aproveitamento de água sejam tomadas de forma mais rigorosa por empresas de pequeno, médio e grande porte.

Segundo Pereira (2018), aproximadamente 17% de toda a água potável disponível para consumo humano é utilizada na indústria da construção, sendo que em países mais desenvolvidos esse número pode chegar a 25%. Por essa razão, o aproveitamento de água na indústria da construção é um assunto que deve ser tratado com seu devido valor, onde grandes empresas e até mesmo construtores de pequeno porte podem ser peças fundamentais na busca incessante pela economia de água potável.

1.4 Hipótese

Analisar a influência da água pluvial captada e tratada na produção de concreto em pequena escala de forma que atenda aos critérios estabelecidos pela NBR 15900:1.

1.5 Justificativa

O tema escolhido tem o propósito de criar a oportunidade de se estudar possibilidades e a viabilidade do aproveitamento das águas da chuva na construção civil, tendo em vista que a água é um insumo muito utilizado na indústria da construção e se disponibiliza para nós, na natureza, de forma cada vez mais escassa, por isso, é de extrema importância que os canteiros de obras adotem medidas de aproveitamento e reuso. E mesmo nos dias atuais, com toda a conscientização existente, ainda há muita resistência por parte das construtoras para se aderir a esses métodos de economia de água, conforme citado por Bertuzzi (2018), a preocupação com o uso racional da água no ramo da construção é quase inexistente por parte das construtoras, as quais utilizam a água com pouco ou nenhum controle de desperdícios. Em geral, a água não é

sequer contabilizada como insumo nas composições de custos, não sendo, portanto, considerada como material de construção.

2. REVISÃO LITERÁRIA

2.1 Água

Tomaz (2005 *apud* COSTA, 2017) afirma que o Brasil é um país privilegiado por conta das grandes reservas de água que ele possui, aproximadamente 12% de toda a água doce do mundo se encontra no Brasil, mas a sua distribuição é de forma irregular, sendo que um exemplo é a região Norte, que possui 68,5% da água doce disponível em território brasileiro, sendo que apenas 7,4% da população reside nesta região. Tucci (2005) explica que a água utilizada não é devolvida para a água fluvial da maneira correta, a água utilizada volta como efluente poluidor, reduzindo ainda mais a quantidade de água doce disponível.

Conforme Coutinho et. al. (2016) além da quantidade, a qualidade da água também é uma questão bastante preocupante. A poluição do meio aquático pode causar alterações das características físicas (turbidez, cor, número e tamanho de partículas, temperatura, condutividade e viscosidade, entre outros) químicas (DBO, pH, toxicidade e etc.) ou biológicas (microrganismos em geral e espécies de fitoplâncton e zooplâncton).

Raduns et. al. (2020) explica que 50% da água utilizada é destinada diretamente para consumo humano, ou seja, essa água deve ser potável, já os outros 50% são para utilizações que não exijam que a água seja potável.

“Por água não potável entende-se que é aquela que não atende a Portaria nº518 do Ministério da Saúde, e uso não potável são aqueles que não envolvam o consumo direto ou indireto da água.” (COSTA, 2017, p. 13).

De acordo com Suderhsa (2006) muitas vezes a fonte de água para preparar concreto é o sistema público de abastecimento ou ainda poços artesianos. A captação da água do sistema público gera custos fixos para a empresa ao fim do mês, e a perfuração de poços artesianos é demorada e dispendiosa, precisando ainda de liberação do órgão competente por meio de diversos laudos técnicos.

Seguindo essa linha de raciocínio, Pessarelo (2008) afirma que a água é utilizada em grandes quantidades nas construções, evidenciando a necessidade de implantação de programas de uso sustentável de recursos hídricos nos canteiros.

Segundo Zhang, Wu e Shen (2015) um dos fatores que mais influenciam na tomada de decisões no planejamento de construções é o fator econômico. Por este motivo, a relutância da

utilização de água de chuva nesse setor ainda é grande, visto que a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva exige investimentos iniciais, porém, o valor investido pode ser recuperado ao longo da utilização do sistema

O aproveitamento da água da chuva, segundo Thomaz (2017), não pode receber o termo reuso de água de chuva e nem ser chamado de reaproveitamento. O termo reuso é usado somente para água que já foi utilizada pelo homem em lavagem de mãos, bacia sanitária, lavagem de roupas, banhos, etc. O reaproveitamento é semelhante ao reuso, significando que a água de chuva já foi utilizada e, portanto, o termo correto quando se trata de água de chuva é o aproveitamento.

“Precipitação é a liberação de água proveniente do vapor d’água da atmosfera sobre a superfície da Terra, sob a forma de orvalho, chuvisco, chuva, granizo, saraiva ou neve (VILLIERS, 2002).”

A NBR 15900 (ABNT, 2009), aborda a possibilidade de utilização de água de chuva na confecção do concreto, desde que a mesma seja aprovada nos critérios de qualidade estabelecidos. Entretanto, a utilização de água de chuva na confecção do concreto é um assunto ainda pouco explorado mundialmente e a quantidade de estudos a respeito deste tema ainda é muito escassa.

A NBR 15900-1 estabelece as características que a água deve ter, para que ela possa ser utilizada no amassamento de concreto, sendo que algumas delas seriam as seguintes: a água deve ter um pH maior ou igual a 5, ser incolor, inodor e qualquer espuma que possa estar presente na água deve desaparecer em até dois minutos.

As características da água bruta derivam principalmente de parâmetros como: matéria orgânica, cor aparente e verdadeira, turbidez, pH, temperatura, agentes patogênicos (MARNOTO, 2008).

2.2 Água pluvial e como tratá-la

Segundo o artigo 102 do decreto 24.643/1934, consideram-se águas pluviais as que procedem imediatamente das chuvas. O artigo 103 afirma que as águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade, porém não é permitido: desperdiçar essas águas em prejuízo dos outros prédios que delas se possam aproveitar, sob pena de indenização aos proprietários dos mesmo; desviar essas águas do seu curso natural para lhes dar outro, sem consentimento expresso dos donos dos prédios que irão recebê-las, construir nestes lugares ou terrenos, reservatórios para o aproveitamento das

mesmas águas sem licença da administração.

De acordo com Campisano et al. (2017 apud BERTUZZI, 2018) a qualidade da água proveniente de sistemas de aproveitamento de água de chuva depende de diversos fatores, como os materiais que compõem o sistema e a região onde a água é coletada. Alguns materiais comumente usados em coberturas podem conter substâncias poluentes e por este motivo, deve ser feita uma análise para garantir que estes materiais não estejam contaminando a níveis impróprios a água coletada. A localização geográfica do local de coleta também influirá na qualidade da água, visto que em certas regiões existe alta concentração de poluentes na atmosfera.

Para Oliveira (2016), outro fator que também deve-se estar atento é que, quando falamos em água de chuva, lidamos com fatores que independem de ações humanas para sua ocorrência. O volume e ocorrência de chuvas não podem ser previstos com certeza absoluta, porém há fatores que auxiliam nas previsões e preparação para determinada época. Essa ferramenta de grande utilidade é o índice pluviométrico.

Costa (2007) diz que o aproveitamento da água da chuva ocorre por meio da captação, utilizando o telhado das edificações para coletar a precipitação da água. Martins (2018) afirma que para analisar a viabilidade da implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva, deve-se levar em conta a precipitação, a área de coleta e a demanda da água.

Para fazer com que as águas pluviais atendam a essas características descritas em norma, é necessário filtrar a água coletada. Conforme Peralta (2005) a filtração lenta é o sistema de tratamento de água mais antigo utilizado pela humanidade. É operacionalmente simples, de baixo custo e muito efetivo desde que projetado de forma apropriada e aplicado nas situações corretas. Essa tecnologia não requer a adição de coagulante, e tem sido considerada a solução apropriada para diversas aplicações nos países em desenvolvimento, especialmente na zona rural e comunidades de pequeno e médio porte.

Brito, Pelegrini e Nascimento (2010) afirmam que a filtração lenta é a tecnologia mais adequada para tratamento de água em pequenas comunidades, por conta da facilidade da sua construção, operação e manutenção. O tratamento ocorre quando a água passa pelo meio filtrante granular, que tem como função melhorar suas características físicas, químicas e biológicas.

Basicamente, os filtros são constituídos de um leito filtrante, formado por uma ou mais camadas de material granular, instalada sobre um sistema drenante, entre ambos, é colocada a camada de suporte (MARNOTO, 2008).

Conforme o que é dito por Marnoto (2008), a filtração é um processo imprescindível

para a produção contínua de água potável. O processo de filtração lenta consiste na passagem de uma solução por um meio poroso com a finalidade de remoção de sólidos suspensos ou precipitados químicos.

2.3 Concreto

O cimento tem sua definição presente na ABNT NBR 16697 Cimento Portland – Requisitos, que o define como ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos nesta Norma.

"Concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada de: aglomerantes, agregados e água. Também é frequente o emprego de aditivos e adições." (PINHEIRO, 2016)

Outra definição, segundo Neville et. el. (2013) é que o concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente mesmo essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos, pois o concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolonas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adição minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. Além disso, esses concretos podem ser aquecidos, curados a vapor, autoclavados, tratados a vácuo, pensados, vibrados por impactos (shock-vibrated), extrudados e projetados. Neste trabalho de conclusão de curso trataremos da mistura de cimento, água, agregados (miúdos e graúdos) e aditivos.

"Os aglomerantes unem os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral se emprega cimento Portland, que, por ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo." (PINHEIRO, 2016, p. 1)

Pinheiro (2016) nos diz que os aditivos são produtos que, adicionados aos concretos de cimento Portland, interferem nas reações químicas e modificam algumas propriedades, no sentido de melhorar esses concretos para determinadas condições. Os tipos mais usados de aditivos são: os plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA)."

"Os agregados são materiais com dimensões variadas, que aumentam o volume da

mistura, reduzindo seu custo, além de contribuir para que haja menor variação volumétrica do produto final. São também os maiores responsáveis pela elevação do módulo de elasticidade do concreto." (PINHEIRO, 2016, p. 1)

Conforme falado por Pinheiro (2016), os agregados são divididos em duas classificações principais, sendo elas: agregado graúdo, quando o diâmetro está entre 0,075mm e 4,8mm, e agregado miúdo, quando o diâmetro é maior ou igual a 4,8mm.

Os agregados desempenham um papel muito importante no concreto, conforme explicado por Pinheiro (2016), o calor gerado pela hidratação de uma grande quantidade de cimento, principalmente em climas quentes, pode levar a fissuração. Deve ser destacado também que a maioria dos agregados são menos propensos a sofrerem ataques químicos que a pasta de cimento, ainda que esta seja bastante resistente. Portanto, independentemente do custo, o uso de agregados no concreto é vantajoso.

Pinheiro (2016) também define as adições, que nada mais é do que materiais que, em dosagens adequadas, podem ser incorporados aos concretos ou inseridos nos cimentos ainda na fábrica, o que resulta na diversidade de cimentos comerciais. Os exemplos mais comuns de adições são: Escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferrosilício e metacaulinita.

Recena (2011) nos afirma que são muitas as classificações dadas ao concreto por sua aplicação ou finalidade específica. Em função da sua resistência à compressão, um concreto pode ser classificado em convencional ou de alta resistência, sendo que a alta resistência é uma das características dos concretos ditos de alto desempenho. O autor também explica que a classificação de um concreto como convencional ou de alto desempenho é feita a partir da resistência mecânica, mais especificamente a partir de um valor de resistência à compressão tomado como referência.

A produção de grandes volumes de concreto é um fator que necessita de uma atenção especial, já que a temperatura no interior do concreto precisa ser dissipada antes de atingir valores muito altos, para que não cause fissuração interna do concreto e, conseqüentemente, perda de resistência. Carneiro et. el, define esse fenômeno calor de hidratação.

Usando outra abordagem, Neville et. el. (2013), nos afirma que assim como outras reações químicas, a hidratação dos compostos do cimento é exotérmica. A quantidade de calor liberada (em joules) por grama de cimento anidro até a hidratação completa de uma dada temperatura é definida como calor de hidratação. Os métodos para determinação desse valor estão descritos na NBR 8809:1985 e NBR 12006:1990.

O tempo de início e fim de pega são fatores importantes na fabricação de concreto. A ABNT NBR 16607:2017 define o tempo de início de pega, em condições de ensaio

normalizadas, como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. Já o tempo de fim de pega, em condições de ensaio normalizadas, é definido como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

Para determinação da consistência do concreto, é necessário realizar o slump test, que está descrito na ABNT NBR 16889 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Através desse ensaio, determinamos a consistência do concreto fresco através da medida do seu assentamento. Esse ensaio pode ser realizado tanto em laboratório, quanto em obra.

2.4 Influência da água no concreto

Pedroso, Tertulino e Polido (2016) afirma que a qualidade do concreto está ligada diretamente a relação água cimento, pois a quantidade de água afeta a resistência do concreto. Cordeiro (2001) afirma que a água tem duas funções: garantir trabalhabilidade adequada e viabilizar as reações químicas do concreto, sendo que uma delas seria a hidratação do cimento.

Durante (2000) explica que o excesso de água no concreto faz com que ele fique mais poroso, e por sua vez, seja menos resistente a compressão, além de apresentar uma aderência menor entre a pasta e o agregado. Também é dito sobre a importância da qualidade da água, pois as características desse recurso afetam diretamente a qualidade do concreto que será fabricado, alguns exemplos das características do concreto que podem ser alteradas por conta da água não ser adequada para fabricação de concreto seriam os seguintes: tempo de pega, resistência e corrosão de armadura.

Ambrozewiz (2012) aborda a importância de observar a quantidade e qualidade da água no processo de amassamento do concreto, pois esses dois fatores podem alterar as propriedades do concreto quando ele já estiver endurecido. Além disso, também é explicado que água que apresente sais dissolvidos e impurezas em excesso pode prejudicar a função dos aglomerantes e águas com características ácidas e sulfatadas destroem o cimento. Neville e Brooks (2012) explicam que a qualidade da água pode interferir nos seguintes aspectos: resistência, tempo de pega do cimento, corrosão das armaduras e coloração superficial.

Costa (2005) complementa a importância da qualidade da água destinada para fabricação de concreto e acrescenta que a água destinada para a cura do concreto deve atender parâmetros ainda mais rígidos, pois isso se faz necessário para combater a renovação de agentes

agressivos que podem agir no concreto.

De acordo com Eliziario e Carvalho (2015), a água tem como sua função no amassamento gerar a hidratação do cimento, onde assume o papel de aglomerante, se une aos agregados e produz o concreto sólido, que visa adquirir um produto final com maior resistência e durabilidade. Além disso, a água deve ser utilizada no processo de cura. Segundo Yazigi (2004), a água é indispensável para as reações químicas do concreto que ocorrem durante a fase de cura do concreto, principalmente nos primeiros dias.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada na presente proposta tem como base dados bibliográficos e estudo experimental. A parte de pesquisa bibliográfica serve para ter maior embasamento teórico e ter ciência se já houve alguma pesquisa com o mesmo objetivo ou similar. O estudo experimental serve para pôr em prática o que foi encontrado na pesquisa bibliográfica, fazendo as adaptações necessárias.

3.1 Filtro para tratamento de água pluvial

Para poder realizar o tratamento da água da chuva e comprovar a viabilidade do tratamento, são necessários seguir três passos: captação da água pluvial, montagem dos filtros e teste da água coletada e tratada.

3.1.1 Captação da água pluvial

A coleta da água pluvial ocorreu por meio do sistema de captação por meio de calhas já existentes na UNICEPLAC - Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos e por conta disso, só foi instalado uma caixa d'água em um ponto de despejo da água pluvial, assim podendo realizar a captação e armazenamento. A seguir está listado uma figura de como foi feita a instalação dessa caixa. A caixa tem a capacidade armazenar 310L, foi instalada no dia 29 de março de 2021 e coletou água até o dia 07 de abril de 2021.



Figura 1 – Detalhe da instalação da caixa d'água para coleta de água pluvial.

Fonte: Autores, 2021.

3.1.2 Montagem dos Filtros

A montagem do filtro é baseada no modelo proposto por Coutinho et. al. (2016). O filtro proposto segue o intuito da Filtração de Camadas Múltiplas - FMC, foi montado em um tubo de PVC de 150mm, que nele contém os seguintes elementos filtrantes: areia, brita 0, carvão ativado e manta de drenagem geotêxtil. A seguir é possível observar a ordem dos materiais por escrito, definindo suas espessuras e uma figura representativa que dá maiores detalhes.

A primeira camada do filtro, chamada de camada de base (mais inferior), é composta por 10cm de brita 0 e acima da brita, uma camada da manta filtrante geotêxtil. Logo acima, temos uma camada composta por 40cm de areia, sendo que essa camada foi subdividida em 3 partes de acordo com a sua granulometria. Foram utilizadas 600 μ m, 300 μ m e 150 μ m, sendo que elas foram inseridas de forma crescente em relação ao topo do filtro. Para obter essas granulometrias foi realizado o ensaio de granulometria, seguindo a NBR 7181 (ABNT, 2016) no qual orienta que o ensaio deve ser feito duas vezes para determinar os valores com precisão. Na primeira parte dessa camada de areia contamos com 10cm da areia de 150 μ m, acima dela, 15cm da areia de 300 μ m e por último, 15cm da areia de 600 μ m, totalizando a camada com 40cm. A próxima camada é composta por 10cm de brita 0 seguida da manta filtrante e de uma camada de 4cm de carvão ativado. Acima do carvão temos mais uma camada de 40cm de areia, com a mesma subdivisão em 3 partes. Logo após essa segunda camada de areia, temos mais uma camada de 10cm de brita 0 seguida de uma camada da manta filtrante e 4cm de carvão ativado. Por último, temos mais uma camada suporte, composta por 10cm de brita 0. A coluna d'água ficou com

92cm de comprimento e o filtro, no total, possui 2,20 metros de comprimento.

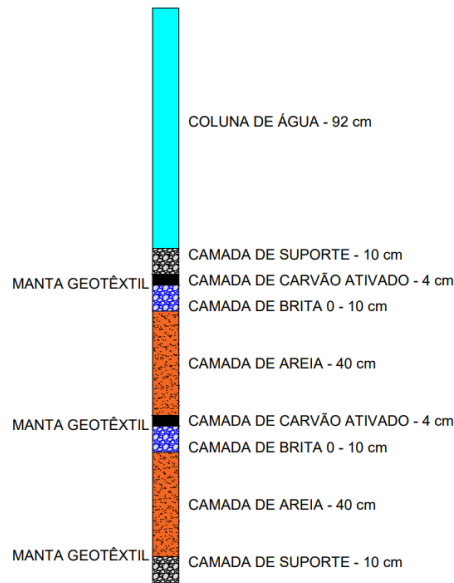


Figura 2 - Representação do sistema de filtragem de camadas múltiplas.

Fonte: Autores, 2021

A escolha desses materiais se deve as suas características e por serem de fácil acesso, pois são fáceis de encontrar. O Tempo de Detenção Hidráulica - TDH é a razão entre o volume e a vazão, ou seja, quanto maior for a vazão, menor será o valor do TDH. O Tempo de Detenção Hidráulica indica quanto tempo será levado para que o FMC realize o processo de filtragem. Para isso, primeiro deve-se estimar a vazão do filtro por meio da equação 1.

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow Q = \frac{100 \text{ mL}}{13,31 \text{ s}} \rightarrow Q = \frac{0,1 \text{ L}}{0,003697222222 \text{ H}} \rightarrow Q \cong 27,047 \text{ L/H} \quad (1)$$

Onde,

- Q = Vazão, medida em Litros por Hora;
- V = Volume;
- t = Tempo.

Com a vazão calculada, é possível determinar o TDH do filtro proposto com a equação 2. Foi passado 100 litros no FMC e apresentou o seguinte resultado:

$$TDH = \frac{V}{Q} \rightarrow Q = \frac{100 \text{ L}}{27,047} \rightarrow Q \cong 3,7 \text{ H} \quad (2)$$

Onde,

- Q = Vazão, medida em Litros por Hora;
- V = Volume, medido em Litros;
- TDH = Tempo de Detenção Hidráulica, medido em horas.

3.1.3 Teste da água pluvial coletada pré e pós-tratamento

Os testes realizados na água tinham como intuito medir as seguintes características: pH, turbidez, presença de sólidos e condutividade elétrica.



Figura 3 – Medidor de pH e soluções para calibrar o equipamento.

Fonte: Autores, 2021

A figura acima apresenta o medidor de pH, sendo que essa sigla se refere ao potencial hidrogeniônico de uma solução (H^+). O pH serve para determinar se uma determinada solução tem características mais ácidas, neutras ou básicas. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, em seu artigo 14 inciso I, a água doce que pode ser utilizada para abastecimento humano pode ter o pH entre 6 e 9. O valor neutro para pH é 7, que seria o ideal para consumo humano.



Figura 4 – Turbidímetro Digital.

Fonte: Autores, 2021

A imagem acima apresenta o turbidímetro digital utilizado para realizar os testes. A turbidez é a medida que aponta a dificuldade que um feixe de luz tem para atravessar uma determinada quantidade de água. Geralmente os valores são expressos em UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez ou em mg/l de SiO_2 . A causa da turbidez geralmente é por conta da presença de matérias sólidas suspensas, matéria orgânica e inorgânica

Seguindo a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, em seu artigo 14

inciso I, a água doce que pode ser utilizada para abastecimento humano pode apresentar até 40 UNT.



Figura 5 – Medidor de Sólidos e Condutividade Elétrica.

Fonte: Autores, 2021

O equipamento acima mediu a presença de sólidos e a condutividade elétrica da água. A presença de sólidos quantifica os resíduos presentes na água. A unidade que a máquina registra é em ppm – partes por milhão, que pode ser convertida em mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, em seu artigo 14 inciso II, a água doce que pode ser utilizada para abastecimento humano pode ter até 500 mg/L.

A condutividade elétrica apresenta a capacidade que essa água tem em conduzir eletricidade, quanto maior é a presença de íons dissolvidos na água, maior é a sua capacidade de conduzir eletricidade. O teste foi feito com água na temperatura de 23,8° C.

3.2 Fabricação de corpos de prova no método tradicional

Foram fabricados 8 corpos de prova, com 20cm de altura e 10cm de diâmetro. O objetivo é realizar o teste de resistência desses corpos de prova fabricados e compará-los futuramente aos corpos de prova que serão fabricados com a água pluvial tratada. O cimento utilizado foi o CP II - F - 32, a areia é lavada, de granulometria média, brita 0 e o aditivo superplastificante ADVA 585, sendo que foi utilizado 40 mL do aditivo para a fabricação dos corpos de prova. A mistura foi feita em betoneira.



Figura 6 - Embalagem do cimento utilizado.

Fonte: Votorantim Cimentos, 2021.



Figura 7 - Betoneira realizando a mistura do concreto.

Fonte: Autores, 2021.

Realizamos o Slump Test conforme o que é orientado pela ABNT NBR 16889:2020, que orienta que o molde deve ser preenchido em três camadas, sendo que cada camada deve ser compactada com 25 golpes com a barra.

Os corpos de prova foram colocados dentro dos moldes e guardados em local adequado por dois dias, até que foram desenformados e colocados em cura úmida. A cura úmida era composta por água e cal virgem, sendo que o segundo item não altera as características do concreto e evita a proliferação de mosquitos da dengue.



Figura 8 - Concretagem do corpo de prova

Fonte: Autores, 2021.



Figura 9 – Tanque de cura dos corpos de prova

Fonte: Autores, 2021.

O método de dosagem utilizado foi o método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Esse método consiste no segmento de três passos principais: fixar a relação água/cimento (a/c), determinar o consumo de materiais e apresentar o traço.

Para o primeiro passo, deve-se considerar qual o tipo de cimento que será utilizado e qual a resistência que deseja ser obtida aos 28 dias. Após isso, é necessário considerar o desvio

padrão para poder calcular a resistência da dosagem, seguindo os conceitos da NBR 12655:2015 Versão Corrigida:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. No presente trabalho, é almejado alcançar a resistência de 25 MPa aos 25 dias e o desvio padrão adotado será no valor de 4, pois o concreto está sendo fabricado em laboratório com equipamentos e ambiente que tornam o controle da fabricação mais precisa. Para calcular a resistência dessa dosagem, é necessário utilizar a equação 3:

$$\begin{aligned} f_{c_{mj}} &= f_{c_{jk}} + 1,65 \cdot sd & (3) \\ f_{c_{28}} &= 18 \text{ Mpa} + 1,65 \cdot 4 \text{ Mpa} \\ f_{c_{28}} &= 24,60 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Onde,

- $f_{c_{mj}}$ = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em MPa;
- $f_{c_{jk}}$ = resistência característica do concreto à compressão, expressa em MegaPascal – MPa
- sd = desvio – padrão da dosagem, expresso em MPa.

O f_{c_j} calculado resulto em 24,60 MPa, mas o valor adotado foi de 25 MPa, para facilitar o processo de cálculo e determinação de valores. Com o valor da resistência média obtido, levando em conta o desvio padrão, é necessário observar um gráfico para determinar a relação água cimento, que nesse caso será utilizado a curva de Abrams. A curva de Abrams leva em conta a resistência desejada para o f_{c_j} no eixo vertical e o consumo de água em relação ao cimento no eixo horizontal, além de considerar o tipo de cimento que é utilizado, que nesse caso deve-se estar atenta na linha do 32, que corresponde ao cimento que foi utilizado.

Para determinar o valor da relação água/cimento, é necessário traçar uma linha horizontal perpendicular do ponto de f_{c_j} almejado até a linha do cimento utilizado e após isso é possível traçar uma linha vertical, no qual vai indicar o valor da relação água/cimento a ser utilizado, como pode ser observado na figura abaixo.

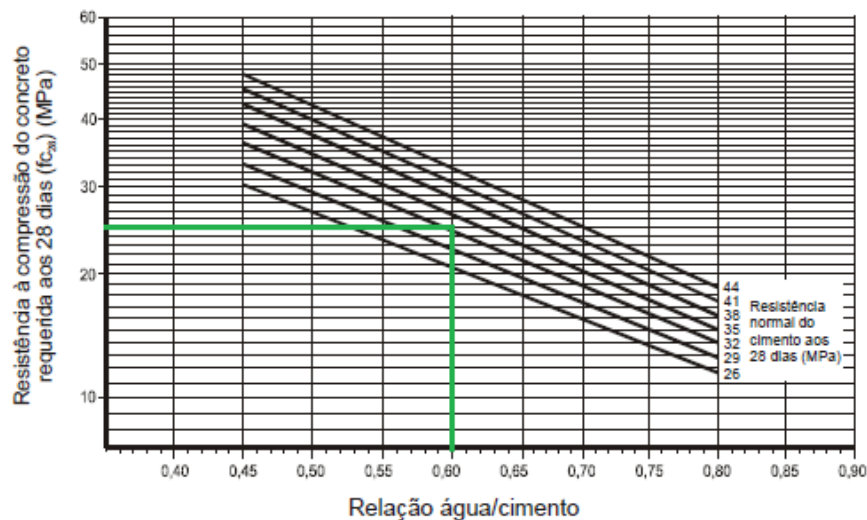


Figura 10 – Curva de Abrams.

Fonte: Rodrigues, 1998 (Adaptado).

Como pode ser observado na Figura acima, a relação de água/cimento adotado é o de 0,60, pois é a relação indicada para o valor de 25 MPa. O passo seguinte é determinar o consumo de água e para isso é levado em conta a dimensão do agregado graúdo e o abatimento desejado, no qual a dimensão máxima do agregado graúdo é de 9,5mm e o abatimento almejado é entre 80 a 100mm.

Tabela 1 – Determinar o consumo de água em função do abatimento e da dimensão máxima do agregado graúdo.

Abatimento (mm)	Dimensão máxima do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³	185 kg/m ³	180 kg/m ³
60 a 80	225 kg/m ³	200 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³	185 kg/m ³
80 a 100	230 kg/m ³	205 kg/m ³	200 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³

Fonte: Rodrigues, 1998 (Adaptado).

Como pode ser observado na tabela acima, o consumo de água estimado é de 230 kg/m³ e ao descobrir esse valor, é possível determinar o consumo do cimento. O consumo do cimento é o consumo de água estimado dividido pela relação água cimento, conforme é apresentado na equação 4.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \rightarrow C_c = \frac{230}{0,60} \rightarrow C_c = 383,33 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

Onde,

- C_c = Consumo de Cimento;
- C_a = Consumo de água;
- a/c = Fator água/cimento.

Para determinar o valor do consumo do agregado graúdo, primeiro é necessário saber o módulo de finura da areia que está sendo utilizado. De acordo com a NBR 7211:2015 Agregados para concreto - especificação, o módulo de finura (MF) é a soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras em massa de um agregado, que no final é dividido por 100. A massa inicial era de 1000g e o módulo de finura obtido foi o seguinte:

Tabela 2 – Ensaio de granulometria da areia para obter o módulo de finura.

Peneira (mm)	massa retida (g)	% retida na peneira	% retida acumulada
4,750	0	0%	0%
2,130	85	9%	9%
1,180	160	16%	25%
0,600	130	13%	38%
0,300	215	22%	59%
0,150	270	27%	86%
Fundo	130	13%	99%
TOTAL	990	MF da areia	2,2

Fonte: Autores, 2021.

Com o valor do módulo de finura obtido, é possível consultar a seguinte tabela, que vai informar o valor do volume compactado seco de agregado graúdo:

Tabela 3 – Volume compactado seco do agregado graúdo por m³ do concreto em função do módulo de finura da areia e da dimensão máxima do agregado graúdo.

Módulo de Finura da Areia (MF)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
	Volume compactado seco (Vcs) de agregado graúdo por m ³ de concreto				
1,80	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,00	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,20	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,40	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,60	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,80	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,00	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,20	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,40	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,60	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998 (Adaptado).

O consumo do agregado graúdo é o produto do volume compactado seco do agregado e da massa unitária compactada do agregado graúdo. Para obter o segundo valor é necessário cumprir um ensaio que deve seguir a NBR NM 45 Agregados - Determinação de massa unitária e volume de vazios. O recipiente utilizado para abrigar o agregado foi um molde de corpo de prova, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O ensaio consiste em encher o recipiente com o agregado, no qual será preenchido em três camadas, sendo que a cada camada o recipiente deve receber 50 golpes, 25 de cada lado. Ao terminar de inserir a última camada, deve ser feito o nivelamento da camada superficial e pesar o valor da massa do agregado.

A massa unitária compactada é a massa do agregado graúdo dividido pelo volume do recipiente, conforme é apresentado na equação 5:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ap}}{V} \rightarrow \rho_{ap} = \frac{2,18 \text{ kg}}{1,5708 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \rightarrow \rho_{ap} = 1.387,83 \text{ kg/m}^3 \quad (5)$$

Onde,

- ρ_{ap} = massa unitária do agregado em quilogramas por metro cúbico;
- m_{ap} = massa do agregado;
- V = volume do recipiente.

Com o valor obtido pela equação 5, é possível estimar o consumo de agregado graúdo, que é encontrado pela equação 6:

$$C_{ag} = V_{cs} \cdot \rho_{ap} \rightarrow C_{ag} = 0,605 \cdot 1387,83 \text{ kg/m}^3 \rightarrow C_{ag} = 839,64 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Onde,

- C_{ag} = Consumo de agregado graúdo em quilograma por metro cúbico;
- V_{cs} = Volume compactado seco do agregado graúdo;
- ρ_{ap} = massa unitária do agregado em quilogramas por metro cúbico.

O último consumo a ser definido é o do agregado miúdo, sendo que nesse caso está sendo utilizado a areia média. Para determinar o consumo do agregado miúdo, é necessário informar os valores da massa específica do cimento, água e agregado graúdo, além de saber os valores dos consumos que foram calculados anteriormente. Tendo esses valores, é possível determinar o volume de areia, seguindo a equação 7:

$$V_{am} = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \rightarrow V_{am} = 1 - \left(\frac{383,33}{3100} + \frac{839,64}{2210} + \frac{230}{1000} \right) \quad (7)$$

$$V_{am} = 0,266 \text{ m}^3$$

Onde,

- V_{am} = Volume de agregado miúdo por metro cúbico de concreto;
- γ_c, γ_{ag} e γ_a = Massa específica do cimento, agregado graúdo e da água, respectivamente.

Com o valor do volume de agregado miúdo é possível estimar o consumo do agregado miúdo, sendo que para determinar esse valor é necessário realizar a multiplicação do volume da areia pela a massa específica desse material. Tendo isso em mente, foi obtido o seguinte resultado, por meio da equação (8):

$$C_{am} = V_{am} \cdot \gamma_{am} \rightarrow C_{am} = 0,266 \cdot 2397 \text{ kg/m}^3 \rightarrow C_{am} = 638,60 \text{ kg/m}^3$$

Onde,

- C_{am} = Consumo de agregado miúdo em quilograma por metro cúbico;
- γ_{am} = Massa específica do agregado miúdo .

Com esses valores, é possível determinar o traço a ser utilizado para a fabricação desse concreto, que consta na tabela abaixo:

Tabela 4 - Traço do concreto utilizado.

Traço em massa (kg):			
cimento	areia	brita	água
1	1,666	2,190	0,60

Fonte: Autores, 2021.

A fabricação dos corpos de prova com água potável ocorreu no dia 24 de agosto de 2021 e os testes de compressão dos corpos de prova ocorreram 3, 7, 21 e 28 dias após a fabricação. Antes de ser submetido ao teste de resistência, o corpo de prova deve ser retirado do tanque de cura em pelo menos 1h antes de ser rompido. Aos 28 dias, é almejado atingir o valor de 25 MPa de resistência.



Figura 11 - Rompimento do corpo de prova - 27/08/2021.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 12 - Rompimento do corpo de prova - 31/08/2021.

Fonte: Autores, 2021.

As figuras 11 e 12 apresentam o rompimento dos corpos de prova quando foram submetidos ao teste de compressão. Seguindo a ABNT NBR 5739 (2018), o teste de compressão consiste em pegar o corpo de prova e submetê-lo a um carregamento progressivo no centro do corpo de prova, até que ele se rompa. O corpo de prova que foi rompido no dia 27 de agosto de 2021, colapsou quando a carga atingiu o valor de 14,64 MPa, já o corpo de prova que foi submetido ao ensaio de compressão no dia 31 de agosto rompeu quando a tensão chegou a 21,33 MPa.



Figura 13 – Corpo de prova rompido - 14/09/2021.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 14 – Corpo de prova rompido - 21/09/2021.

Fonte: Autores, 2021.

O corpo de prova que foi submetido ao ensaio de compressão no dia 14 de setembro rompeu ao atingir 22,92 MPa, já o corpo de prova que foi rompido no dia 21 de setembro rompeu com 24,19 MPa. O concreto atingiu um valor bem próximo do que tinha sido planejado, já que pretendia alcançar o valor de 25 MPa.

3.3 Fabricação dos corpos de prova com água pluvial tratada

O procedimento de fabricação e o quantitativo são os mesmos, a única diferença é na água, que no procedimento anterior foi utilizado água potável e neste foi utilizada água pluvial tratada pelo Filtro de Camadas Múltiplas, que foi apresentado anteriormente. O tanque de cura utilizado é o mesmo que foi utilizado para realizar a cura dos corpos de prova fabricados anteriormente.

A água pluvial tratada utilizada foi coletada a partir dos 25min do período de tratamento. Abaixo está listado algumas figuras referentes a fabricação do concreto com água pluvial tratada.



Figura 15 – Água da chuva tratada para a fabricação do concreto.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 16 – Aditivo superplastificante.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 17 – Adição da água pluvial tratada na fabricação do concreto.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 18 – Moldes dos corpos de prova.

Fonte: Autores, 2021.

O procedimento referente ao ensaio de compressão é o mesmo, assim como os dias de rompimento, que ocorreram nos dias 03, 07, 21 e 28 após a fabricação. Abaixo é possível ver as figuras referente ao rompimento do dia 03 e 07. O rompimento do terceiro dia após a fabricação resistiu até 16,55 MPa, já o do sétimo dia após a produção rompeu com 19,86 MPa. O rompimento do 21º dia após a concretagem atingiu o valor de 21,90 MPa de resistência a compressão e o último rompimento atingiu o valor de 25,46 MPa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O Gráfico 1, disponível abaixo, apresenta os valores de pH. A linha tracejada em vermelho apresenta o valor de pH da água potável, que foi coletada no próprio laboratório onde ocorreu os testes, a linha preta contínua apresenta os valores de pH da água após o tratamento e a linha contínua verde apresenta o valor do pH da água antes do tratamento, essa legenda é a mesma para os outros gráficos, exceto para o Gráfico 3.

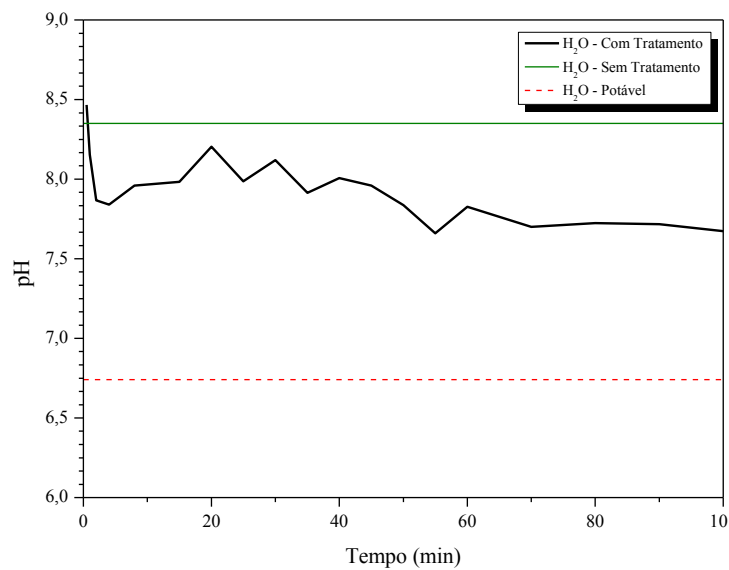


Gráfico 1 – Análise dos valores de pH.

Fonte: Autores, 2021.

Conforme mostrado no Gráfico 1, é possível notar que o pH da água potável está abaixo de 7, ou seja, apresenta características mais ácidas. A água pluvial tratada apresentou redução de pH quando comparada a água da chuva pré-tratamento, sendo que a da água pluvial tratada apresentou um valor médio de 7,93 de pH e por estar acima do pH neutro, apresenta características mais básicas. O próximo Gráfico vai apresentar os valores de turbidez.

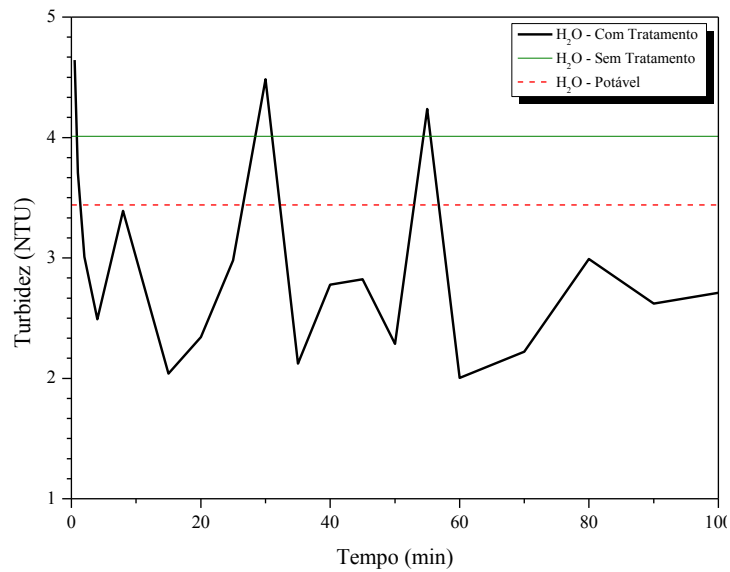


Gráfico 2 – Análise dos valores de turbidez.

Fonte: Autores, 2021.

O Gráfico 2 apresenta os valores de Turbidez, que são mensurados em NTU (também podem ser medidos em UNT, apresentam o mesmo significado). O valor médio da turbidez da água potável é de 3,44 NTU e o da água pluvial captada é de 4,01. Após o tratamento, o valor médio obtido foi de 2,94 NTU, apesar dos valores de turbidez oscilarem bastante entre os valores de 4,64 UNT e 2,00 UNT. O Gráfico 3 apresenta a eficiência da remoção da turbidez

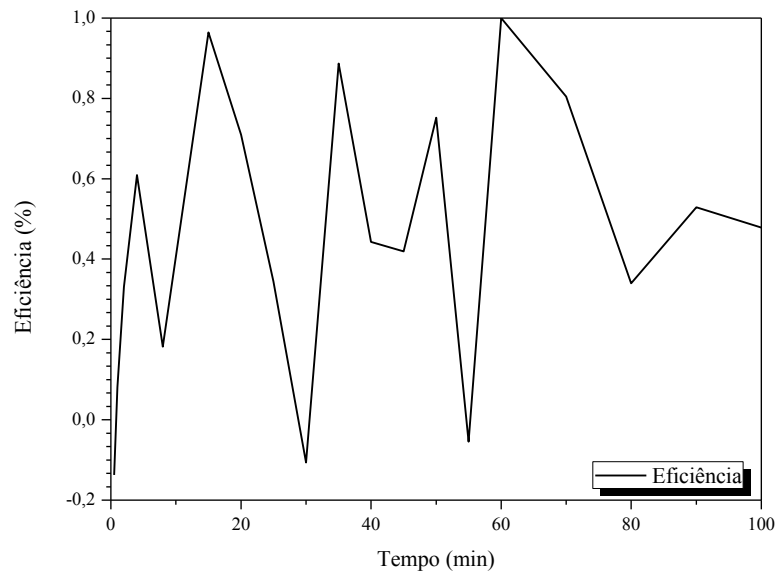


Gráfico 3 – Análise da eficiência de remoção da turbidez.

Fonte: Autores, 2021.

A eficiência da remoção de turbidez apresentado no gráfico 3 apresenta valor baixo, por conta de a turbidez da água pluvial captada já ser bastante baixa. O Gráfico 4 apresenta a análise dos valores de presença de sólidos.

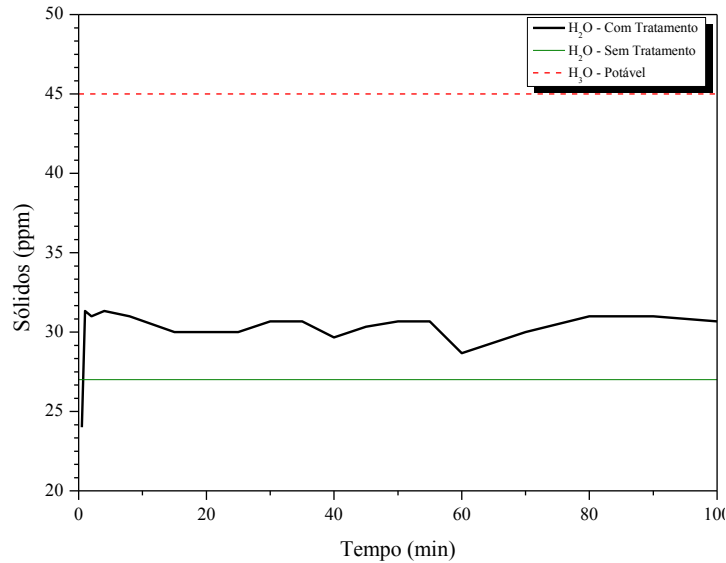


Gráfico 4 – Análise dos valores de sólidos.

Fonte: Autores, 2021.

Como pode ser visto no gráfico acima, o valor de presença de sólidos na água pluvial tratada, medido em ppm – partes por milhão, teve uma elevação após ser submetida ao processo de filtragem, a água pluvial antes do tratamento apresentava valores menores de presença de sólidos, mas ambos estão abaixo do valor de sólidos da água potável, que é de 45 ppm. O Gráfico 5 demonstra os valores de condutividade elétrica.

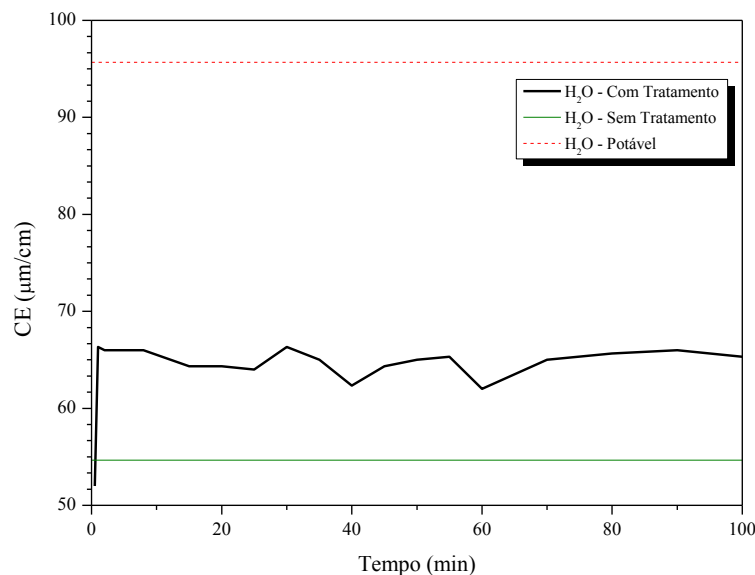


Gráfico 5 – Análise dos valores de condutividade.

Fonte: Autores, 2021.

Os valores de condutividade elétrica apresentam a mesma tendência que o de presença de sólidos, ou seja, houve uma elevação após ser submetido ao processo de tratamento proposto e o valor da condutividade elétrica da água pluvial, antes e após o tratamento, ainda é inferior ao valor que foi encontrado ao analisar a água potável.

Silveira *et al.* (2019) fizeram estudo similar ao propor um filtro de baixo custo para remoção de turbidez no manancial Ribeirão Descoberto. Ao comparar os testes de pH, é possível observar uma similaridade entre os valores da água tratada, apesar dos resultados de Silveira terem apresentado uma elevação no pH após ser submetida ao tratamento. O de turbidez é um caso mais complexo, pois o valor de turbidez da água captada da chuva da presente proposta era de 3,44 UNT e o de Silveira *et al.* era de 74 UNT. Na análise de presença de sólidos, os resultados obtidos, conforme mostra o Gráfico 4, apresenta que a água pluvial sofreu um aumento de presença de sólidos após ser submetida ao processo de tratamento, enquanto o de Silveira *et al.* apresentou redução significativa. E no último teste, o de condutividade elétrica, ambos apresentaram a mesma tendência, que a condutividade elétrica da água subiu após ser submetida ao processo de tratamento.

Para comprovar a qualidade da água é necessário compará-la aos requisitos estabelecidos pelas seguintes normas: ABNT NBR 15900-1 e a Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Os dados a seguir foram retirados dos documentos originais das normas citadas anteriormente.

Tabela 5 - Parâmetros estabelecidos pela NBR 15900-1.

Parâmetros	Valores aceitos
pH	maior ou igual a 5,0
Sólidos	até 50.000 mg/L
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis
Odor	Inodor
Cor	Deve ser amarelo claro a incolor

Fonte: ABNT, 2009 (Adaptado).

Tabela 6 - Parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

Parâmetros	Valores aceitos
pH	6,0 a 9,0
Turbidez	até 40 UNT
Sólidos	até 500 mg/L
Materiais flutuantes (incluso espumas não naturais)	Virtualmente ausentes
Óleos e graxas	Virtualmente ausentes
Gosto e Odor	Virtualmente ausentes

Fonte: CONAMA, 2005 (Adaptado).

Comparando os valores dos parâmetros aos obtidos, pode-se concluir a eficácia do

tratamento de água pluvial. No entanto, a NBR 15900-1 exige ensaios químicos, mas por falta de equipamentos não foi possível realizar esses ensaios, pois eles determinariam os contaminantes, sulfatos, cloretos e álcalis na água pluvial tratada, e esses fatores tem grande influência no resultado final, no qual determina de fato se a água é adequada ou não para ser utilizada em concreto. A seguir é possível visualizar um fluxograma presente na NBR 15900-1, que apresenta os passos a serem seguidos e o que cada resultado indicaria.

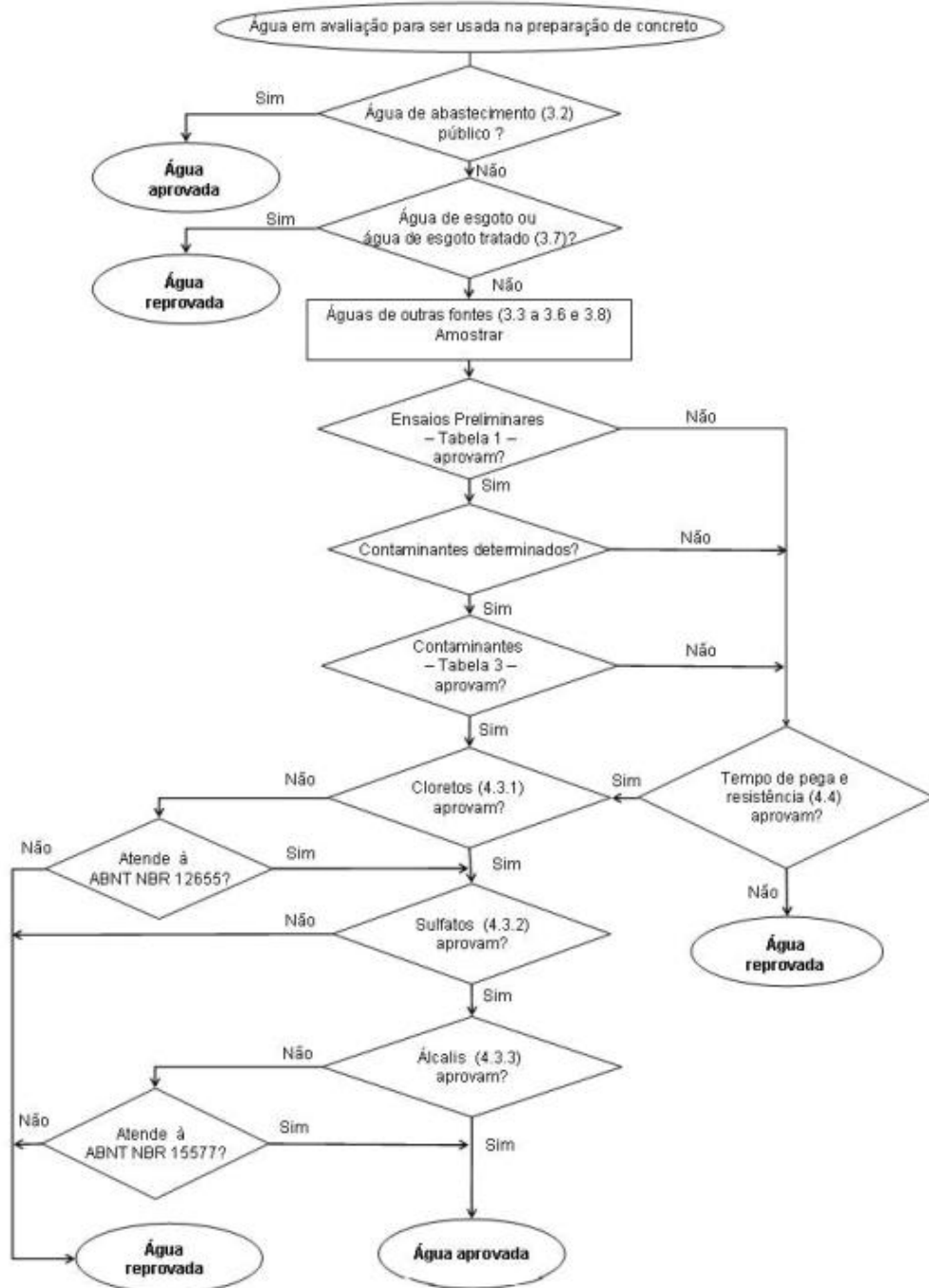


Figura 19 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.

Fonte: ABNT, 2009.

Partindo para a análise do concreto, o primeiro passo seria verificar se o rompimento dos corpos de prova ocorreram da maneira adequada. Para comprovar isso, é necessário comparar o rompimento que os corpos de prova do concreto apresentaram com o que é previsto em norma. A norma que aborda isso é a NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2018). A Figura – apresenta o tipo de ruptura que os corpos de prova de concreto apresentaram e a Figura – apresenta o que é previsto na NBR 5739.



Figura 20 – Corpo de prova rompido - 01/10/2021.

Fonte: Autores, 2021.

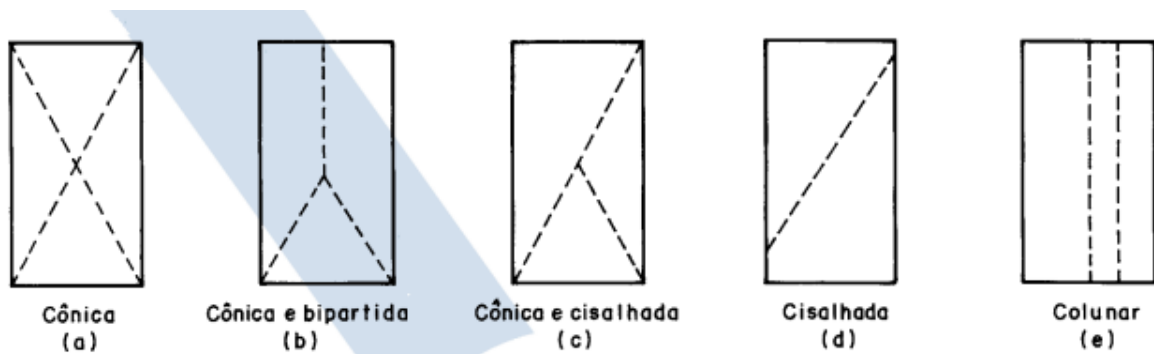


Figura 21 – Esboço dos tipos de ruptura.

Fonte: ABNT, 2018.

Com isso é possível comprovar que a ruptura dos corpos de prova ocorreu de maneira adequada, indicando que o concreto foi fabricado de maneira correta. Partindo para a análise dos valores referentes a resistência à compressão dos corpos de prova fabricados com água potável e água tratada, os Gráficos 6 e 7 apresentam os seguintes resultados:

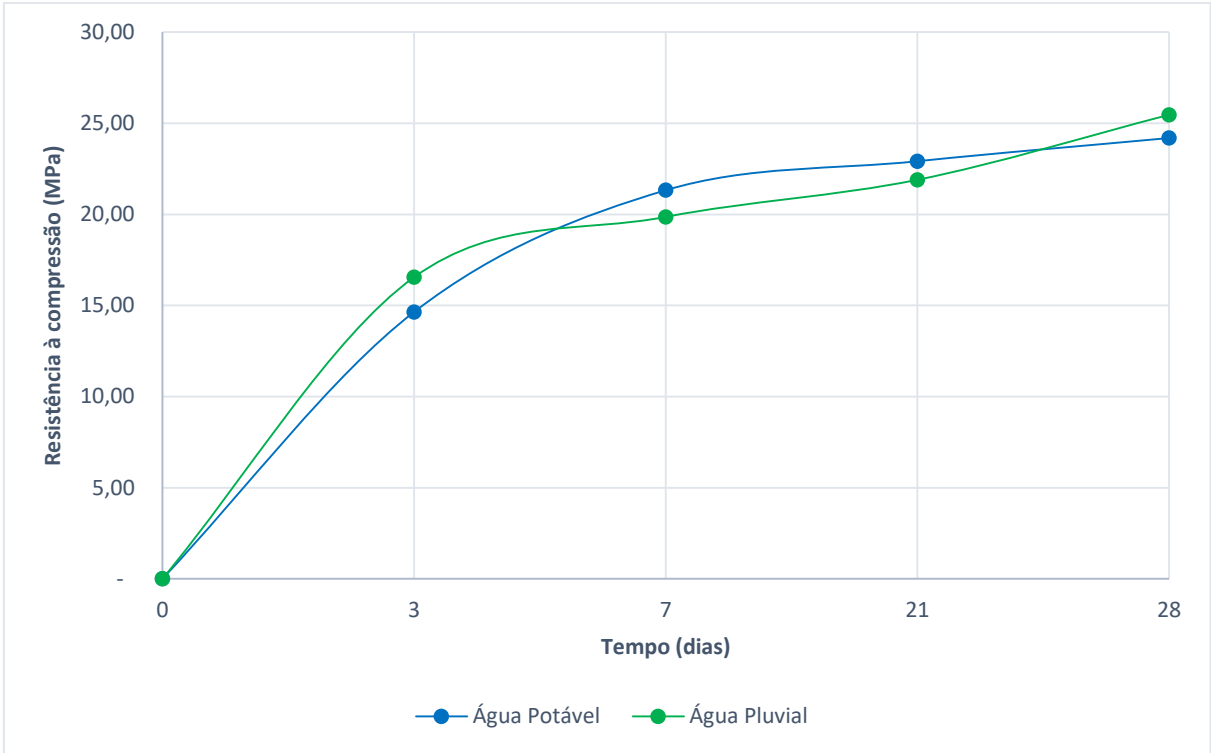


Gráfico 6 – Resistência à compressão do concreto com água potável e concreto com água pluvial tratada.

Fonte: Autores, 2021.

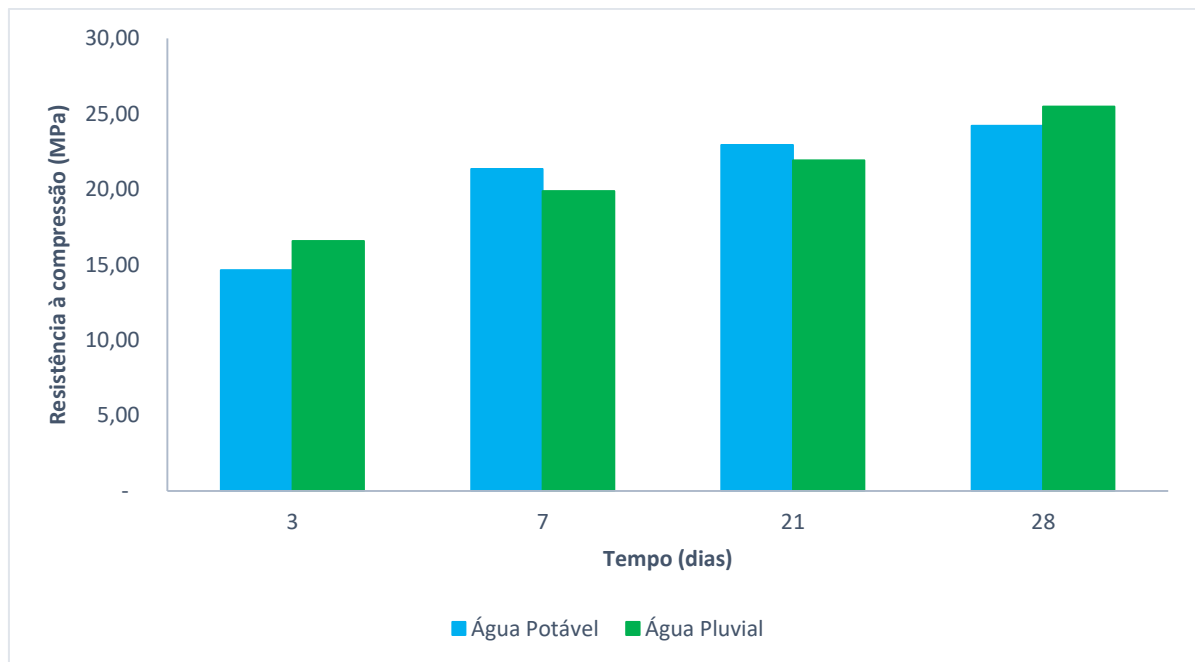


Gráfico 7 – Concreto com água potável x Concreto com água pluvial tratada.

Fonte: Autores, 2021.

O concreto fabricado com água pluvial tratada apresentou resistência maiores do que o concreto produzido com água potável nos dias 3 e 28 de rompimento, mas nos dias 7 e 14 a sua resistência foi inferior, sendo que a variação foi em aproximadamente 1,5 MPa. A qualidade do concreto não teve redução, atendendo as expectativas do método de dosagem e superando o

concreto convencional no último rompimento.

A NBR 15900-1 (ABNT, 2009) define que para comprovar a viabilidade de utilização de água de origem distinta do sistema de abastecimento público, é necessário que o concreto fabricado com essa água atinja o valor de resistência à compressão igual ou maior do que 90 % da resistência obtida com concreto preparado com água destilada ou deionizada, sendo que essa verificação deve ser analisada nos dias 7 e 28.

Um estudo similar foi feito na Universidad Nacional de Colombia, no qual Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016) apresentaram os seguintes resultados nos ensaios de compressão.

Tabela 7 - Resistência ao esforço de compressão.

Dia de Rompimento	Tensão de Rompimento – Concreto com água potável (MPa)	Tensão de Rompimento – Concreto com água pluvial (MPa)
1	7,24	7,62
3	16,84	17,34
7	22,06	23,76
14	24,70	24,05
28	27,74	27,51
56	28,75	29,18
90	33,15	34,13

Fonte: Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo, 2016 (Traduzido e adaptado).

Como pode ser observado na tabela acima, a resistência do concreto fabricado com água da chuva é mais alta do que o concreto com água potável nos seguintes dias: 1, 3, 7, 56 e 90. Já nos dias 14 e 28, o concreto com água potável se apresentou mais resistente. Ao comparar o resultado da tabela 7 com o do gráfico 6, é possível notar que em ambos casos ocorre essa inversão da resistência, onde o concreto com água pluvial começa mais resistente, no meio fica menos resistente do que o concreto com água fornecida pelo sistema de distribuição, e no final, fica mais resistente de novo.

Essa inversão de valores da resistência ocorre em momentos distintos, pois o cimento utilizado no presente trabalho é o CP II – F – 32 e o cimento utilizado por Bedoya-Montoya e Medina-Restrepo (2016) foi o Portland tipo III, apesar de ambos visarem atingir a resistência de 25 MPa aos 28 dias. De acordo com Su et al. (2001) a alta resistência inicial pode ocorrer em água com alto valor de pH, ou seja, com características alcalinas, que apresente cálcio e hidróxido de sódio dissolvidos, pois aceleram a hidratação do cimento, apesar de não ter garantia de resistência a longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A IES já contava com um sistema próprio de drenagem pluvial que utiliza calhas e rufos, então esse sistema foi utilizado e ampliado para que a água pluvial pudesse ser armazenada em uma caixa d'água.

Os testes realizados foram de pH, turbidez, presença de sólidos e condutividade elétrica, no qual os parâmetros a serem seguidos são os que estão estabelecidos pela NBR 15900-1. Após realizados todos os testes, foi observado que a água pluvial tratada apresentou melhores resultados quando comparada a água potável, pois a água tratada pelo FMC apresentou o valor médio do pH superior a 7 e os valores de turbidez, condutividade elétrica e presença de sólidos da água pluvial tratada é inferior ao da água potável. Apesar disso, os valores de presença de sólidos e condutividade elétrica apresentou uma elevação após a água captada ser submetida ao tratamento.

O concreto fabricado com água pluvial apresentou valores maiores do que o concreto com água potável nos dias 3 e 28, mas apresentou valores menores nos dias 7 e 21. A maior diferença entre os resultados foi de 1,91 MPa e essa diferença ocorreu no rompimento do dia 3. A justificativa para a resistência maior da água pluvial no primeiro rompimento é por conta do pH da água, que está acima de 7 e segundo Su et al. (2001), essa característica acelera o processo de hidratação do cimento, mas não tem como estimar qual é o seu comportamento a longo prazo.

Conforme havia sido previsto por meio da revisão bibliográfica, a resistência a compressão do concreto produzido com água pluvial atingiu o critério da resistência estabelecido pela NBR 15900-1 e conseguiu ser aprovado nos ensaios que foram realizados. A respeito dos resultados da água, os valores encontrados também foram positivos, comprovando que o filtro contribuiu positivamente para o tratamento da água.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no que foi debatido em banca e notado no decorrer do trabalho, os seguintes tópicos visam abordar sugestões para possíveis trabalhos futuros:

- Estudo em áreas litorâneas - verificar qual o tipo de tratamento ou elemento filtrante que poderia ser adotado nesse tipo de localidade e fazer estudos e análises;
- Fabricar concretos com mais resistência - adotar uma metodologia que vise atingir um

concreto com resistências maiores e verificar se vai ter variação entre o concreto fabricado com água potável e o concreto fabricado com água pluvial tratada;

- Adaptação do sistema de tratamento, conforme a localidade – a água pluvial varia de acordo com a localidade, pois as suas características são influenciadas diretamente pelos poluentes da região, então é necessário sempre revisar qual seria o método de filtragem mais adequado e quais elementos utilizar;
- Utilizar outros tipos de cimento – ao escolher usar outros tipos de cimento, pode-se verificar como ocorrerá a variação entre o concreto fabricado com água do abastecimento público e o concreto com água pluvial tratada, além de analisar como será a interação desse tipo de cimento com a água pluvial tratada.

REFERÊNCIAS

ABNT. Abnt Nbr 12006:1990. **Cimento – Determinação do calor de hidratação pelo método de garrafa de Langavant - Método de ensaio.**

ABNT. Abnt Nbr 12655:2015 Versão Corrigida – **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação.**

ABNT. Abnt Nbr 15900-1:2009. **Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**, [s. l.], p. 237, 2009.

ABNT. Abnt Nbr 16607:2017. **Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega.**

ABNT. Abnt Nbr 16697:2018. **Cimento Portland – Requisitos.**

ABNT. Abnt Nbr 16889:2020. **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.**

ABNT. Abnt Nbr 5739:2018. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.**

ABNT. Abnt Nbr 7181:2016. **Solo - Análise granulométrica.**

ABNT. Abnt Nbr 7211:2015. **Agregados para concreto – especificação.**

ABNT. Abnt Nbr 8809:2013. **Cimento portland – Determinação do calor de hidratação a partir do calor de dissolução.**

ABNT. Abnt Nbr NM 45. **Agregados - Determinação de massa unitária e volume de vazios.**

AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012.

BEDOYA-MONTOYA, C. M.; MEDINA-RESTREPO, C. A. El concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción. *Revista Facultad de Ingenieria*. v. 25, n. 41, p. 31-39, 2016. Su, N., Miao, B., and Liu F. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 5, p. 777-782. 07 dez. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884601007621>.

BRANCO, SM **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo: Moderna, 1993.7-17 ISBN 85-16-00900-9.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de março de 2005.

BERGAMINI, N.C.; PATERNIANI, J.E.S. **Benefícios do emprego de mantas não tecidas instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos no tratamento de água para pequenas comunidades**. *Omnia Exatas*, v. 3, n. 2, p. 53–59, 2010.

BERTUZZI, Giovanna Kiehn. **Potencial de economia de água potável, viabilidade**

econômica e qualidade da água de sistema de aproveitamento de água de chuva para confecção de concreto em fábrica de pré-moldados de concreto. [s. l.], 2018.

CARNEIRO G. V; GIL L. K; NETO M.P. **Calor de hidratação no concreto.** Goiânia. 2011.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Concreto de alto desempenho com Metacaulinita.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos Goytacazes, 2001.

COSTA, Jamy Oliveira. **Viabilidade técnica de água de chuva coletada de telhados para uso nos processos de preparo do concreto.** [S. l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Disponível em:
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6410/1/aguachuvapreparoconcreto.pdf>

COSTA, Marlo Jorge. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um método de dosagem.** Universidade regional do noroeste do estado do rio grande do sul, 2005. Disponível em: <http://projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2005/Avaliacao_do_Uso_da_Areia_Artificial_Em_Concreto_De_Cimento_Portland_Aplicabilidade_de_Um_Metodo_de_Dosagem.pdf>

COUTINHO, MAYCOL MOREIRA; SILVEIRA, Leonardo Ramos. **Utilização de filtro de múltiplas camadas para remoção de turbidez.** Revista Tecnia, [s. l.], v. 1, 2016.

Durante, Rogério. **Concreto – Qualidade, classificação e propriedades.** Ciset/Unicamp, 2000.

ELIZIARIO, Jackson da Silva; CARVALHO, Pedro Antônio Oliveira Bacelar de. **Estudo de viabilidade da implantação de um sistema de captação de águas pluviais na fabricação de concreto usinado.** Orientador: Thales Leandro de Moura. 2015. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Tecnológico de Caratinga, Caratinga, 2015.

ESTEVIÃO, Maria João; MARNOTO. **Expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos-influência sobre a qualidade da água para abastecimento e a duração das carreiras.** [S. l.: s. n.]: Universidade Federal De Santa Catarina Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental 2008.

MARTINS, Fábio Henrique. **Sistemas de filtragem de água pluvial em residências.** Director, [s. l.], v. 15, n. 40, p. 6–13, 2018. Disponível em:
http://awsassets.wfnz.panda.org/downloads/earth_summit_2012_v3.pdf<http://hdl.handle.net/10239/131>https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones_jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion_para_el_aprendizaje_Perspectiva_alumnos.pdf<https://ww>

NEVILLE A.M; BROOKS J.J. **Tecnologia do concreto.** 2 edição. Porto Alegre – RS. Bookman. 2013.

OLIVEIRA, João Paulo Gama De *et al.* **Reuso da água da chuva na produção de blocos de concreto não estrutural / Rain water reuse in the production of non-structural concrete blocks.** REGET / UFSM - Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,

[s. l.], v. 20, n. 1, 2016.

PEDROSO, Bruna Migliorini, et. al. **Influência do fator água/cimento para resistência do concreto**. Centro Universitário Integrado de Campo Mourão, 2016. Disponível em: <https://concepar.grupointegrado.br/resumo/influencia-do-fator-aguacimento-pararesistencia-do-concreto/480/854>.

PERALTA, Cristiane Campos. Remoção do indicador clostridium perfringense de oocistos de cryptosporidium parvum por meio da filtração lenta –avaliação em escala piloto. PTARH.DM -081/05BRASÍLIA / DF: JULHO -2005 2005.

PEREIRA, Ederson Cristovão. **Avaliação do uso e consumo de água na construção**. [s. l.], 2018.

PESSARELO, Regiane Grigoli. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: Avaliação e fatores influenciadores**. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <http://poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/36321ef2ece6a6108dbca2b017009f27.pdf>.

RADUNS, Caroline Daiane, et al. **Água e energia elétrica - teoria e prática sobre o uso eficiente**. [S. l.: s. n.], 2020. *E-book*.

REBOUÇAS, ADC. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 19-30 ISBN 85-7531-123-1

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 3 edição. Porto Alegre. 2011.

RODRIGUES, P.P.F. Parâmetros de dosagem do concreto. ET - 67. São Paulo: ABCP, 1990.

Superintendência de desenvolvimento de recursos hídricos e saneamento ambiental. SUDERSHA. **Manual técnico de outorgas**, 2006.

TUCCI, Carlos EM . Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Gestão de águas pluviais urbanas. Saneamento para Todos; 4º volume. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

THOMAZ, Plínio. **Água : pague menos**. [S. l.: s. n.], 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. UFRRJ. **Turbidez**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm>. Acesso em 09 nov. 2021

VILLIERS, MD. **Água -como o uso deste precioso recurso natural pode acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 6ª Ed., São Paulo, Editora Pini, 2004, p.257

Zhang, X .; WU, Y .; SHEN, L. **Embedding “green” in Project-based organizations: the way ahead in the constrution industry?**. Journal of Cleaner Production, v. 107, p. 420-427, 2015.