



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E CIÊNCIAS AMBIENTAIS**



NEREU PEDRO PITOL

**DESENVOLVIMENTO DE CICLO FECHADO PARA APROVEITAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DE LABORATÓRIO DIDÁTICO DO CURSO DE
EDIFICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**

PELOTAS

2021

NEREU PEDRO PITOL

**DESENVOLVIMENTO DE CICLO FECHADO PARA APROVEITAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DE LABORATÓRIO DIDÁTICO DO CURSO DE
EDIFICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharias e Ciências Ambientais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre

Orientadores: Dr. Daniel Ricardo Arsand
Dr. Marcelo Adriano Duarte

PELOTAS

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

NEREU PEDRO PITOL

**DESENVOLVIMENTO DE CICLO FECHADO PARA APROVEITAMENTO DE
EFLUENTE LÍQUIDO DE LABORATÓRIO DIDÁTICO DO CURSO DE
EDIFICAÇÕES NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharias e Ciências Ambientais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Dissertação defendida e aprovada em: dia, mês e ano.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Daniel Ricardo Arsand
Orientador
IFSul

Prof. Dr. Marcelo Adriano Duarte
Coorientador
IFPR

Prof. Dr. João Francisco Fernandes Pouey
IFSul

Prof. Dr. Michel David Gerber
IFSul

Prof. Dr. Fernando Machado Machado
UFPel

DEDICATÓRIA

Em memória de minha mãe, que baseou sua vida na disseminação do conhecimento a seus alunos, e sempre me incentivou aos estudos.

Em memória de meu pai, que com seu infinito conhecimento prático, me ensinou o valor da dedicação ao trabalho.

À minha família, Bento e Cris, por toda compreensão, dedicação, cooperação e aprendizado diário.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Ricardo Arsand, por todos os ensinamentos.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcelo Adriano Duarte, pelo comprometimento e dedicação, em tempo integral, ao desenvolvimento deste trabalho, pela amizade e sinceridade.

Ao curso Técnico em Edificações do Instituto Federal Sul riograndense, IFSul, pelo apoio e empréstimos de seus laboratórios, ferramentas e equipamentos.

Ao curso Técnico em Química do Instituto Federal Sul riograndense, IFSul, pelo apoio e empréstimo de seus laboratórios, no desenvolvimento de análises.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais - PPGECA e seus professores, que muito contribuíram com seus conhecimentos.

Ao colega e Engenheiro Civil, Lucas Hlenka, pelo suporte, amizade e pela parceria.

À todas e todos bolsistas dos cursos técnicos em Edificações e Química, por suas colaborações e disponibilidade.

Aos professores da banca, por suas contribuições.

RESUMO

Os cursos da área de construção civil como técnico de Edificações, bacharelados em arquitetura e engenharia civil, possuem laboratórios didáticos para o desenvolvimento de aulas práticas e projetos de pesquisas. Tais atividades consomem água para mistura de materiais, lavagem de ferramentas e equipamentos, gerando efluente líquido. Foi estudada a possibilidade do uso desse efluente tratado na produção de concreto para fins didáticos e aplicação na construção civil, por isso, buscou-se analisar aspectos de resistência e durabilidade dos concretos produzidos, a fim de promover a economia de água tratada e redução de resíduos, além de despertar a cultura de reciclagem pelos estudantes. O efluente líquido foi coletado, quantificado e submetido à tratamento preliminar (decantação) de forma que pudesse separar os resíduos sólidos e outros materiais como óleos gerando então água de reuso. Foram produzidos corpos de prova em concreto com diferentes teores (20, 50, 80 e 100%) de água de reuso em substituição à água tratada, para testes de desempenho mecânico e durabilidade. Para um período anual (letivo) estimou-se consumo de 80.000 litros de água tratada consumidos e geração 68.000 litros de efluente líquido. Verificou-se que a substituição de água tratada por água de reuso não prejudica a resistência dos concretos produzidos em todas as idades testadas (14, 28 e 91 dias). Constatou-se que, embora a água reaproveitada tenha pH entre 11,02 e 11,76, não houve variação significativa do pH para concretos endurecido nas idades testadas, quando comparado ao concreto controle (pH entre 12,13 e 12,47). Também foi verificado pelo ensaio de carbonatação natural que, para teores até 50% de água de reuso, não foi afetada a frente de carbonatação se comparada ao concreto controle. Conclui-se ser possível usar até 100% da água de reuso, em ciclo fechado, para produção de concretos e argamassas, utilizados em aulas práticas, reduzindo 100% de emissão de efluente líquido. Entretanto, nas obras de construção civil recomenda-se utilizar, até 50% de diluição de água de reuso, preservando assim a mesma durabilidade do concreto controle. Adicionalmente, através de relatos durante os processos de pesquisa, percebe-se que a utilização de um processo desenvolvido contribui para a formação de cultura ambientalmente sustentável em estudantes e futuros profissionais.

Palavras-chave: reuso, efluente, sustentabilidade, construção civil, laboratório didático, concreto.

ABSTRACT

The courses in the civil engineering area, such as construction technician, architecture and civil engineering, are equipped with educational laboratories for the development of practical classes and research projects. These activities consume water to mix materials and to wash tools and equipments, generating liquid effluent. It has been studied the possibility of using the treated effluent in the manufacturing of concrete for educational purposes in the civil construction. It was sought to analyze the aspects of resistance and durability of the manufactured concrete, promote an economy on treated water and waste reduction, beyond arising a recycling culture by the students. Liquid waste was collected, quantified, and submitted to previous treatment (decanting) in order to separate solid waste and other materials such as grease, resulting in reuse water. Concrete samples were produced; with different amount of reuse water (20, 50, 80 and 100%) replacing treated water, for the mechanical performance and durability tests. During an annual period (school year) it was estimated the consumption of 80.000 liters of treated water and a generation of 68.000 liters of liquid effluent. The replacement of treated water for the reused water did not affect the compressive strength of the produced concrete among all tested ages (14, 28 and 91 days), was verified. Although observing the pH of the recycled water was between 11,02 and 11,76 there was no significant variation on the pH of the endured concrete on the tested ages, when compared to the control concrete (pH between 12,13 and 12,47). Through the natural carbonation test, it was verified that up to the level of 50% of reused water, there was no affected on the carbonation when compared to the control concrete. It has been concluded that in a closed loop process it is possible to use 100% of reused water to produce concrete and mortar, applied in practical classes, reducing liquid effluent emission in 100%. Therefore, on construction work, it is recommended the use of up to 50% of reused water dilution preserving this way the same durability as the one from the control concrete. In addition, reports throughout the research process noticed that the use of a developed process contributes to a sustainable environmental awareness among the students and future professional.

Key words: reuse, effluent, sustainability, construction, laboratory didactic, concrete.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(C) - Controle

(R) – Água de Reuso

(T) – Água tratada

(Ca (OH₂)) –Portlandita- Hidróxido de Cálcio

(CaO.Fe₂O₃) – Ferrato

(OD) – Oxigênio dissolvido

(VMP) – Valores máximos permitidos

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

a/ag - Relação água/aglomerante

a/c - Relação água/cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABESC – Associação Brasileira de Serviços de Concretagem

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI – Alta resistência inicial

C₂S - Silicato bicálcico

C₃S - Silicato tricálcico

Ca/Si - Relação cálcio/sílica

CaCO₃- Carbonato de cálcio

CaO - Óxido de cálcio

CAPO – Coordenadoria de Apoio a Projetos e Obras

CH - Hidróxido de cálcio - Ca(OH)₂

CO₂- Gás carbônico

CONAMA – Concelho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

CP IV-32 – Classe de Cimento Portland Pozolânico

C-S-H - Silicato de cálcio hidratado

DBO – Demanda biológica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

FAO – Organização das nações unidas para a alimentação e agricultura

fc_k – Resistência característica à compressão

Fe(OH)₂- Hidróxido de ferro II
Fe₂O₃ - Óxido de ferro III
GPa - Gigapascal (10⁹ Pascal)
IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto
IFSUL – Instituto Federal Sul-rio-grandense
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Kc – Coeficiente de carbonatação controlado
Kn – Coeficiente de carbonatação natural
KOH - Hidróxido de potássio
MgO - Óxido de magnésio
Mn – manganês
MPa – Mega Pascal
Na₂O - Óxido de sódio
NaOH - Hidróxido de sódio
NBR - Norma Brasileira
NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez
O₂- molécula de oxigênio
OH⁻ - Íon hidroxila
ONU – Organização das Nações Unidas
pH - Potencial de hidrogênionico
PML – Produção Mais Limpa
PPGECA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais
R² - Coeficiente de correlação
RCC – Resíduo da Construção Civil
RCD - Resíduo de Construção e Demolição
SAG – Sistema Aquífero Guarani
SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas
Si⁺⁴- Íons silício
SiO₂- Dióxido de silício
SO₃- Anidrido sulfúrico ou óxido sulfúrico
UNESCO -Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UNIDADES

μm - Micrômetro

Å - Angstrom

cm - Centímetro

cm^2 - Centímetro quadrado

dm^3 - Decímetro cúbico

g - Grama

kg - Quilograma

Km^2 - Quilômetros quadrados

KN/m^2 - Quilo Nilton por metro quadrado

kPa - Kilopascal (10^3 Pascal)

l - Litros

m - Metro

m^2 - Metro quadrado

m^3 - Metro cúbico

ml - Mililitros

mm - Milímetro

MPa - Megapascal (10^6 Pascal)

nm – Nanômetro

NTU – Unidade nefelométrica de turbidez

$^{\circ}\text{C}$ - Graus Celsius

T/m^3 - Toneladas por metro cúbico

NOMENCLATURA ESPECÍFICA UTILIZADA

Água tratada (T): Água potável, água de abastecimento público tratada e distribuída pelo SANEP. (Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas-RS).

Água de reuso (R): É a fase líquida do efluente após processo de tratamento preliminar, decantação por de 48 horas.

Efluente líquido: Resíduo em consistência líquida (composto por fase líquida, sólida e sobrenadante, separáveis após processo de decantação), gerado no laboratório didático durante a lavagem de ferramentas, equipamentos, utilizados na produção e aplicação de produtos cimentícios.

Fase líquida: Parte do efluente líquido, composto por água e materiais em suspensão como: Partículas de cal, partículas de cimento e produtos hidratados como carbonato de cálcio (CaCO_3) e hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 .

Fase sólida: Parte do efluente líquido, composto por areia, brita, fragmentos construtivos, entre outros.

Sobrenadante: Escuma proveniente de produtos da lavagem de ferramentas e equipamentos, compostos cimentícios, resíduos de graxas, óleos, solventes, aditivos, matéria orgânico entre outros.

Decantação: Processo de tratamento preliminar aplicado na separação da fase sólida, líquida e sobrenadante do efluente líquido gerado no laboratório didático.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Consumo de água tratada mensal.....	23
Quadro 2: Médias de consumo de água de abastecimento público-IFSul - Câmpus Pelotas..	23
Quadro 3: Procedimentos de ensaios para inspeção preliminar da água destinada ao amassamento de concreto.....	34
Quadro 4: Cimentos brasileiros conforme norma ABNT NBR 16697/2018.....	36
Quadro 5: Os parâmetros físicos e químicos do cimento CP IV – 32.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos resíduos conforme Conama n° 307-2002, e n° 431-2011	47
Tabela 2: Formas de destinação dos resíduos da construção civil	47
Tabela 3: Parâmetros de lançamento de efluentes líquidos, pH, Turbidez e DQO	49
Tabela 4: Parâmetro do cimento Portland Pozolânico.....	56
Tabela 5: Composições realizadas com mistura de água tratada e água de reuso.....	57
Tabela 6: Quantidades dos materiais para compor o traço em massa	62
Tabela 7: Quantidades dos materiais para compor o traço, em percentagens	63
Tabela 8: Ordem de colocação dos materiais na betoneira	63
Tabela 9: Número de Ensaios realizados para idades e teores de água de reuso.....	67
Tabela 10: Volume de água tratada e efluente líquido	76
Tabela 11: Resultados dos ensaios de pH em águas de amassamento	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Laboratório didático do curso de Edificações	24
Figura 2: Práticas construtivas desenvolvidas no curso de Edificações.....	25
Figura 3: Grão de cimento Anidro.	36
Figura 4: Produtos de hidratação de materiais cimentícios.....	38
Figura 5: Carbonatação	44
Figura 6: Efeito da carbonatação em estruturas de concreto armado.....	45
Figura 7: Organograma do trabalho experimental	51
Figura 8: Agregado miúdo, Composição granulométrica da areia utilizada no experimento.	52
Figura 9: Agregado graúdo, Composição granulométrica da brita 1 e brita 2 (experimento)	52
Figura 10: Curva granulométrica da areia natural.....	53
Figura 11: Curva granulométrica – Brita 1	54
Figura 12: Curva granulométrica – Brita 2	54
Figura 13: Curva granulométrica – Brita 1 e Brita 2.	55
Figura 14: Ensaio de abatimento de tronco de cone	55
Figura 15: Tanque de lavagem.....	58
Figura 16: Efluente líquido.	60
Figura 17: Processo de geração de efluente líquido, decantação e água de reuso.....	60
Figura 18: Preparação de corpos de prova.	64
Figura 19: Corpos de prova (5x10 cm), para estudo de carbonatação natural	65
Figura 20: Preparo das amostras de concreto endurecido para análise de pH.....	66
Figura 21: Camadas dos corpos de prova utilizadas para análise de pH.....	66
Figura 22: Ensaio de compressão axial dos concretos produzidos	67
Figura 23: Sentido de corte dos corpos de prova em cinco camadas.....	68
Figura 24: Equipamento desenvolvido para cortar corpos de prova	69
Figura 25: Corte em cinco camadas para exposição de fenolfetaleína.....	69
Figura 26: Exemplo de amostras de concreto expostas à fenolfetaleína após carbonatação	69

Figura 27: Exemplo do método utilizado para detectar profundidade de carbonatação	70
Figura 28: Experimento para a determinação do pH dos concretos endurecidos	71
Figura 29: Ciclo de geração do efluente líquido e água de reuso.....	72
Figura 30: Volume de água consumida durante as aulas	73
Figura 31: Gráfico comparativo-resistência à compressão axial simples, %, 14 e 28 dias	79
Figura 32: Gráfico comparativo resistência à compressão axial simples, 14 e 28 dias (Mpa)	80
Figura 33: Gráfico comparativo crescimento da resistência à compressão, 14 e 28 dias (%)	80
Figura 34: Gráfico de crescimento resistência à compressão, 28 e 91 dias (%)	82
Figura 35: Gráfico comparativo resistência à compressão axial simples, 14, 28 e 91 dias (Mpa)	82
Figura 36: Gráfico comparativo crescimento da resistência à compressão, 14, 28 e 91 dias (%)	83
Figura 37: Frente de carbonatação concretos C, C20 e C50	84
Figura 38: Frente de carbonatação concretos C80 e C100.....	85
Figura 39: Implantação-laboratório didático	88
Figura 40: Planta baixa e legenda do sistema desenvolvido para reuso de efluente líquido.....	89
Figura 41: Corte longitudinal do sistema desenvolvido para reuso de efluente líquido	89
Figura 42: Detalhamento de (layout)	90
Figura 43: Proposta tridimensional para um circuito fechado	90

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Hidratação do C_2S	37
Equação 2: Hidratação do C_3S	37
Equação 3: Reação Pozolânica.....	38
Equação 4: Carbonatação	43

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	20
1.1 - Relevância do tema e fundamentação	20
1.2 - Objetivos	26
1.2.1 - Objetivo geral.....	26
1.2.2 - Objetivos específicos	26
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 - Água	27
2.1.1 - A água tratada para abastecimento humano	28
2.1.2 - Parâmetros de qualidade da água para o consumo humano.....	29
2.1.3 - Demanda de água em atividades não prioritárias.....	29
2.1.4 - Consumo de água nas escolas técnicas, universidades e laboratórios didáticos...31	
2.2 - Concreto de cimento Portland	31
2.2.1 - Conceito de concreto.....	31
2.2.2 - Traço do concreto.....	32
2.2.3 - Aplicação do concreto de cimento Portland.....	32
2.2.4 - Propriedades do concreto fresco:	40
2.2.5 - Propriedades do concreto endurecido	41
2.3 - Sustentabilidade da construção civil:	45
2.3.1 - Reaproveitamento de resíduos da construção civil.	45
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1 - Materiais.	52
3.1.1 - Agregados.	52
3.1.2 - Aglomerante:.....	56
3.1.3 - Água de amassamento:.....	56
3.2 - Métodos:	58
3.2.1 - Medição de volume de líquidos:	58

3.2.2 - Coleta, armazenamento e tratamento do efluente líquido	59
3.2.3 - Ensaio em concreto:.....	62
3.2.4 - Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos, análises e durabilidade: 64	
3.2.5 - Ensaio mecânico, químico e durabilidade em corpos de prova de concreto endurecido	66
3.2.6 - Desenvolvimento de projeto de coleta, tratamento e reuso de efluente líquido de laboratório didático.....	71
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	73
4.1 - Medição do volume de líquidos:.....	73
4.1.1 - Medição do consumo de água tratada:	73
4.1.2 - Medição do volume de efluente líquido:.....	76
4.2 - Resultado das análises químicas do efluente e água tratada:.....	76
4.2.1 - pH das amostras de água de amassamento:.....	76
4.2.2 - Turbidez das amostras de água de amassamento:	78
4.2.3 - DQO das amostras de água de amassamento:.....	78
4.3 - Resultados para ensaios de resistência, durabilidade e resultados químicos em concreto endurecido:	79
4.3.1 - Resistência à compressão axial simples	79
4.3.2 - Resistência à compressão axial simples comparação entre idades 14, 28 e 91 dias:	81
4.4 - Carbonatação natural:.....	84
4.4.1 - Análise do ensaio de pH em concreto endurecido:	85
4.5 - Projeto de captação e reuso do efluente líquido (layout)	87
5 - CONCLUSÕES	91
6 - REFERÊNCIAS	92

1 - INTRODUÇÃO

1.1 -Relevância do tema e fundamentação

Pesquisas e ações relacionadas à preservação ambiental e sustentabilidade são importantes na sociedade atualmente. O meio científico tem a responsabilidade de estudar os efeitos da interação do Homem com o meio ambiente e suas consequências, não apenas imediatas, mas principalmente consequências futuras.

O setor da construção civil é um dos mais importantes para o desenvolvimento de países como o Brasil, os quais possuem grande demanda por obras de infraestrutura e moradias, dessa forma, o consumo de materiais de construção deve ser explorado com o uso de tecnologias, para que se possa ter crescimento sustentável e obras mais duráveis. A construção civil não é destaque somente como indústria de grande impacto na economia, ela também é a responsável por produzir 50% dos resíduos do país (FARIA et al., 2019).

Os materiais mais usados na construção civil são concretos e argamassas, sendo o concreto o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do consumo de água. Esses materiais são compostos por agregados miúdos e graúdos (materiais inertes), aglomerantes (materiais à base de cimento, cal e gesso) e água, usada tanto para fornecer a trabalhabilidade desejada (plasticidade da massa) como componente químico na reação de hidratação dos aglomerantes.

No Brasil o crescente uso do concreto aumentou o consumo de cimento em mais de 80% entre os anos de 2005 e 2012 (ABCP, 2013), com venda expressiva, chegando a 52,9 milhões de toneladas de cimento em 2018 (CIMENTO.ORG, 2018).

Em nível global, a produção de cimento mais que dobrou entre os anos de 2002 e 2017, passando de 1,8 bilhões de toneladas para 4,1 bilhões de toneladas (CIMENTO ITAMBÉ, 2019).

Nos países desenvolvidos a construção civil também se desenvolve mais e num ritmo mais rápido, devido ao atendimento da demanda social por moradias, obras de infraestrutura e desenvolvimento industrial.

Temos que considerar que outros constituintes do concreto como areia, brita e água também são materiais obtidos de recursos naturais, não renováveis, porém com um potencial poluente menor na produção ou extração, porém o seu uso contínuo irá causar na natureza um impacto considerável e irreversível especialmente se considerarmos que tais recursos não poderão ser repostos na natureza de hipótese alguma (DUART, 2008).

Considerando esses aspectos, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais alternativos, redução do consumo e principalmente na reciclagem para que se possa diminuir custos, preservar recursos naturais e reduzir a poluição ambiental.

A reciclagem de materiais tem características de fundamental importância para a sustentabilidade e preservação ambiental, qual sejam:

- Reduz o consumo de matéria prima de origem natural e conseqüentemente sua extração da natureza.

- Reduz a quantidade de resíduos dispensados na natureza.

- Prioriza o uso de recursos naturais para atividades essenciais à sobrevivência dos seres humanos como é o caso da água que deve ser priorizada para o consumo humano, dessedentação de animais, agricultura, higiene e preparação de alimentos.(FORTES, 2018)

Percebe-se cada vez mais o desenvolvimento de políticas de uso e reuso da água em processos industriais e até residenciais (HESPANHOL, 2003). O setor da construção civil é considerado um dos mais importantes para economia dos países pelo volume financeiro envolvido, pela geração de emprego e pelo atendimento das demandas sociais por habitação e infraestrutura. (PAIVA e RIBEIRO, 2005).

A prioridade do uso da água já foi prevista desde 1997 na lei nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, que determina que, em situações de escassez, o uso prioritário da água é para o consumo humano e para a dessedentação de animais.

A norma ABNT NBR 15900/2009 passou a recomendar o uso de água de reaproveitamento e então abrir espaço para o aproveitamento de águas de reuso, porém os critérios ainda continuam rígidos especialmente para uso em concretos estruturais. (FORTES, 2018)

A água usada na lavagem dos equipamentos e acessórios utilizados na produção de materiais cimentícios como concretos e argamassas apresenta pH elevado (em torno de 12,0) devido à dissolução dos produtos de hidratação do cimento Portland como o Hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 . Segundo Dilonardo et al. (2015) na produção de concreto de cimento Portland, especialmente para fins estruturais, o controle do pH é importante para evitar a acidez que causa a corrosão da armadura de aço. Por outro lado, o meio alcalino sempre foi tido como sendo passivador, protegendo a armadura de aço contra a corrosão.

Eventualmente a formação de uma camada de óxido ferro ainda pode ser vista como um fator positivo, pois serve como uma camada protetora adicional chamada de ferrato ($\text{CaO.Fe}_2\text{O}_3$) que se forma pela combinação da ferrugem (Fe_2O_3) com o hidróxido de Cálcio

(Ca(OH)₂) resultante da hidratação do cimento.(REBMANN, 2011).

Considerando os aspectos positivos do ambiente alcalino, como a passivação, é um desperdício não usar a água dessa lavagem da produção de materiais cimentícios. Malaguti et al.(2017), testaram o reuso da água de lavagem dos caminhões betoneira e mostraram ser possível produzir concretos sem prejuízo de resistência mecânica com o material reaproveitado.

Paula e Ilha (2014) observam que a Resolução CONAMA nº 448 estabelece que os resíduos da construção civil não podem ser descartados em aterros de resíduos urbanos sólidos, em encostas, em corpos de água, em terrenos vazios ou em outras áreas protegidas por lei.

Dessa forma, tornam-se relevantes pesquisas que visem conscientizar os estudantes, profissionais e empresários da indústria de construção civil para que estes busquem medidas de reaproveitamento dos resíduos e efluentes, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável.

Conforme Freire et al. (2000), o processo industrial é uma atividade que pode contribuir para a contaminação das águas de rios, uma vez que a maioria dos processos produtivos englobam grande quantidade de águas, tendo como consequência a produção de efluentes líquidos contaminados.

Ghrair et al. (2018), mostram que, globalmente, a indústria de concreto consome um bilhão de toneladas de água de mistura anualmente, além de consumir água fresca (tratada), para lavar betoneiras, bombas de concreto, agregados, cura de concreto entre outras atividades. Estes autores propuseram o reuso da água doméstica com tratamento primário e secundário, na produção de concretos e argamassas. Seus resultados demonstraram que a água do tratamento secundário é viável para uso na produção de concretos e que a resistência mecânica foi pouco abaixo do concreto de controle (C) e, dessa maneira, é possível utilizar também esta forma de reciclagem de água.

Para Naik (2009) os recursos hídricos estão sendo esgotados por vários usos e a água potável deve ser conservada para atender às necessidades de sustentação da vida, em vez de necessidades de infraestrutura que deve ser atendida por métodos de reciclagem como reutilizar a água local para ciclos repetidos da mesma tarefa ou ainda tratar e reutilizar a água no local para várias finalidades, evitando sempre que possível o uso da água potável.

A instituição em que a pesquisa foi desenvolvida é referência para a cidade de Pelotas e Região Sul do RS. A entidade de ensino denominada Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) – Câmpus Pelotas, atende um total de 5.454 estudantes matriculados em todos os níveis. Possui em seu quadro de funcionários 756 servidores entre docentes, técnicos administrativos

e terceirizados, distribuídos em 30 cursos regulares de diferentes níveis e segmentos profissionais, sendo destes 10 cursos técnicos. Está implantada em um terreno de 41.344 m², com área construída de 39.021 m² e planta de cobertura que chega a 23.150 m².

Através dos dados apresentados, diante de experiência e inquietação como aluno (década de 1990) e professor (desde 2006) do curso técnico em Edificações, acredita-se no potencial dessa escola para desenvolvimento e implantação de sistemas, que possam reduzir o consumo de água tratada na instituição e minimizar o lançamento de efluentes, através da reutilização de águas de processos em diversos cursos, captação, armazenamento e distribuição da água de fontes alternativas como, por exemplo, água da chuva.

Os projetos, se desenvolvidos na instituição, poderiam ainda ser implantados ou replicados em outros 14 Câmpus administrados pelo IFSul, abrangendo cerca de 30.000 pessoas. Mesmo com todos esses números favoráveis, não existe sistemas em funcionamento ou em implantação, que possam minimizar ou reduzir o alto consumo de água tratada no Câmpus.

No quadro 1, abaixo, é apresentado o consumo de água tratada do IFSul Câmpus Pelotas em diversos períodos.

Quadro 1: Consumo de água tratada mensal

Consumo mensal (m³) de água tratada-IFSul Câmpus Pelotas														
Ano	Unidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média período
2017	m ³	665	658	767	582	1795	631	979	2140	1695	1900	2292	2664	1398
2018	m ³	1886	1545	730	613	817	6162	2284	3655	510	941	688	7901	2311
2019	m ³	2414	1745	1485	494	2805	760	649	-	-	-	-	-	1479

Fonte: COAPROJ/Câmpus Pelotas/IFSul, 2020

As médias diárias e mensais de consumo de água tratada do IFSul – Câmpus Pelotas, estão representadas no quadro 2 abaixo.

Quadro 2: Médias de consumo de água de abastecimento público-IFSul - Câmpus Pelotas

Médias do consumo (m³) de água tratada-IFSul, Câmpus pelotas		
Períodos: (2017 – 2019 – 2019)		
Médias	Consumo	Unidade
Média mensal	1.769,65	m ³
Média diária	88,48	m ³
Média mensal no período letivo	2.194,36	m ³
Média diária no período letivo	109,72	m ³

Fonte: COAPROJ/Câmpus Pelotas/IFSul, 2020

As escolas de engenharias, arquitetura e cursos técnicos contam com uma rede de laboratórios de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico, que normalmente são equipados com máquinas, equipamentos e ferramentas inerentes ao curso. Os laboratórios de ensino se destacam por serem locais de desenvolvimento de aulas práticas, que permitem a integração do aluno aos conhecimentos teóricos, oferecendo condições de desenvolvimento de projetos, pesquisas e tendo participação decisiva na formação prática.

Os laboratórios são projetados para que sejam permitidos acessos independentes à carga e descarga de materiais pesados, como o aço, concreto, amostras de rochas e agregados, madeiras em geral e a descarga de areia, cimento e brita, além da retirada de entulhos, sucatas ou rejeitos produzidos.

O Laboratório didático do curso de Edificações do IFSul- Câmpus Pelotas é um espaço onde se desenvolvem atividades práticas curriculares, que consomem água tratada de abastecimento público e a consequente geração de efluente líquido, sendo produzidos concretos e argamassas para execução de diversas etapas da obra, tais como: fundações, vigas e pilares, contrapisos e pavimentações, alvenarias e revestimentos, entre outros. Para cada turma de alunos é disposto o espaço para a realização dos serviços citados acima, em ambiente realístico que reproduz atividades de canteiro de obras. Na Figura 1 são apresentados alguns espaços de laboratórios didáticos do curso de Edificações e, na Figura 2, são identificados alguns dos serviços desenvolvidos nas aulas de práticas construtivas no laboratório didático.



Figura 1: Laboratório didático do curso de Edificações

a) Práticas construtivas, fundações e alvenarias b) Práticas construtivas, revestimentos e estruturas c) Demolição das estruturas construídas pelos alunos d) Vista aérea. e) Laboratório de solos e concretos f) Prensa hidráulica



Figura 2: Práticas construtivas desenvolvidas no curso de Edificações

a) Lavagem de ferramentas e equipamentos b) Colocação de marcos e esquadrias c) Execução de escadas d) Ensaios de granulometria e) Execução de alvenaria f) Produção de concretos e argamassas

Kucche et al.(2015) sugerem que se use sempre que possível água de reaproveitamento e outras fontes de água como alternativa da água tratada especialmente a água potável e apresentam águas de diferentes naturezas e características físico-químicas para serem usadas neste processo.

Dessa forma, observa-se serem necessárias ações como criação de políticas de estímulos e normas regulamentadoras, além de estudos destinados ao reuso de água na produção de concretos e argamassas. Deve-se testar para cada situação e para cada finalidade os efeitos nas propriedades mecânicas como resistência à compressão e a durabilidade.

1.2 - Objetivos

1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolver processo de ciclo fechado em laboratório didático para aproveitamento de efluente líquido na produção de concretos de cimento Portland em aulas práticas no curso de Edificações e atividades da construção civil em geral, reduzindo o consumo de água tratada e a emissão de efluente líquido.

1.2.2 - Objetivos específicos

Buscou-se nesta pesquisa científica trabalhos laboratoriais e estudos teóricos para:

- Medir quantidade de água tratada consumida e geração de efluente líquido em aulas práticas do curso técnico de Edificações do IFSul - Câmpus Pelotas.
- Coletar, armazenar, tratar e caracterizar o efluente líquido gerado.
- Avaliar a resistência e a durabilidade dos concretos produzidos com diferentes teores de efluente líquido tratado, em substituição a água tratada.
- Desenvolver um projeto em ciclo fechado que promova a economia de água tratada e redução de efluente líquido, com: Captação, tratamento, armazenamento e consumo da água de reuso produzida, para ser implantado no laboratório de práticas do curso técnico de Edificações do IFSul - Câmpus Pelotas, afim de promover a transformação do laboratório de práticas construtivas em instalações ambientalmente sustentáveis.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Água

“A água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. É fundamental para a existência e manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas” (Braga et al, 2002).

A água é o componente biológico essencial à manutenção da vida animal e vegetal. Esta substância compõe proporção entre 75 e 85% da estrutura corpórea dos seres vivos (RIBEIRO, 2020).

O Brasil abriga 13,7% da água doce superficial do mundo, mas mais de 73% dessa água doce disponível encontra-se na bacia amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Por outro lado, apenas 27% dos recursos hídricos superficiais brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país (LIMA, 2001). Conforme a Agência Nacional de Águas (ANA), o país contém grande quantidade de água subterrânea, com 27 grandes sistemas aquíferos que possuem uma reserva potencial de água.

Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), 5.570 municípios brasileiros são abastecidos por águas subterrâneas, contudo, cerca de 104 milhões de pessoas não tem acesso à coleta de esgoto e 4.329 km³ de esgoto atingem o subsolo do país anualmente, que só no estado de São Paulo contaminam mais de 6 mil áreas de aquíferos e águas subterrâneas.

No Brasil, pouco mais de 83% da população são atendidos com abastecimento de água tratada e, apesar dos investimentos para garantia de consumo, os sistemas sofrem perdas na distribuição que podem chegar a 38,5% da água tratada, enquanto que quase 35 milhões de brasileiros não têm acesso à água potável. Na zona rural brasileira, o déficit de cobertura de sistemas de tratamento de água e esgoto é grande: quase 67% da população captam água de fontes alternativas, geralmente inadequadas para consumo humano e 66,5% lançam os dejetos em fossas rudimentares ou diretamente no solo ou nos cursos d'água (TRATA BRASIL, 2019).

Para Paz et al. (2000), o setor agrícola é o maior consumidor de água em nível mundial: a agricultura consome 69% de toda água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) e outros 31% são consumidos pela indústria e uso doméstico. Deve-se então sempre considerar a importância da preservação de água para as atividades essenciais e cada vez mais usar a água reciclada para consumos secundários como a indústria da construção civil.

Passados quase vinte anos a situação não mudou e, segundo FAO (2019), 70% de toda a água consumida no mundo é usada na irrigação das lavouras, na pecuária e na agricultura.

A indústria responde pelo consumo de quase 20% e as residências, 12%. A ONU declarou que se essa indústria reduzisse 10% do consumo da água, seria o suficiente para abastecer o dobro da população mundial (HESPANHOL, 2003).

É importante destacar que a água potável é um bem valioso que merece atenção não só por parte dos governantes. Cada pessoa, ao desperdiçar água em sua casa ou poluir um rio, por exemplo, está contribuindo para que a quantidade de água potável seja reduzida.

2.1.1 - A água tratada para abastecimento humano

A água é elemento essencial para a vida do ser humano e, portanto, seu uso deve ser racionalizado para evitar a sua falta, visto que água para consumo humano tem parâmetros difíceis de ser obtidos a baixo custo.

A manutenção da qualidade da água de nossos recursos hídricos deve ser constante e feita com a maior responsabilidade. Para isso, deve-se avaliar a qualidade da água por alguns parâmetros físicos e químicos, como pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (OLIVEIRA et al., 2017).

A água potável pode ser definida como a água própria para consumo humano, ou seja, livre de substâncias e organismos que possam trazer doenças, além de não possuir cor, gosto ou cheiro. Para que a água seja considerada potável, deve-se, portanto, analisar suas características físicas, químicas, biológicas e até mesmo radioativas.

Dentre os padrões exigidos pelo Ministério da Saúde, destacam-se a análise dos coliformes fecais, monitoramento de *Escherichia coli*, análise da turbidez e das substâncias químicas presentes, incluindo-se as cianotoxinas e verificação de pH, gosto, odor e radioatividade.

Segundo Soares (1999) apud DANELUZ e TESSARO, 20015), o valor do pH é importante, pois apresenta forte relação com o crescimento bacteriano, uma vez que para a maioria das bactérias o pH ótimo para seu desenvolvimento oscila entre 6,5 e 7,5. A Resolução do CONAMA nº 430/2011, determina que o pH dos efluentes lançados no corpo do rio, tem uma margem de tolerância de 5,0 a 9,0. No mesmo contexto, a Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde recomenda uma variação de pH entre 6,0 a 9,5 que seria apropriada para consumo humano.

Deve-se ainda considerar que as mudanças climáticas têm contribuído para o esgotamento de fontes naturais de água como rios e neste sentido atualmente experimentamos cada vez mais situações de falta de água potável em especial nos locais mais populosos das cidades. A água de consumo humano então deve ser priorizada e a água usada em outras atividades deve vir de fontes alternativas, em especial de atividades de reuso e reciclagem. (RIBEIRO, 2020)

2.1.2 - Parâmetros de qualidade da água para o consumo humano.

O pH adequado ao consumo humano, conforme a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, deve situar-se geralmente na faixa de 6,0 a 9,0.

Para Richter (2009) a água encontrada na natureza é, em geral, inapropriada para o consumo humano, devido à presença de uma série de contaminadores que podem ser prejudiciais à saúde sendo que, na maior parte das vezes, estes contaminadores são resultantes de atividades do próprio homem (que contamina a água com esgoto, lixos, pesticidas agrícolas, fertilizantes e outros).

Tornou-se, assim, imperativo estabelecer normas paramétricas que traduzissem, de forma objetiva, as características que águas destinadas ao consumo humano deveriam obedecer (MENDES, 2006). No Brasil, a Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo essa norma, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água. São designados Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água de consumo humano (BRASIL, 2011).

2.1.3 - Demanda de água em atividades não prioritárias.

No século passado foram principalmente três os fatores que contribuíram para a crescente demanda de consumo de água, sendo eles: o crescimento demográfico, o desenvolvimento industrial e a expansão do cultivo irrigado (COSTA e BARROS, 2007).

O setor industrial é responsável por cerca de 22% do uso mundial de água, nos países desenvolvidos esse índice é de 59%, sendo de apenas 8% nos países não desenvolvidos (BARBOZA e MARQUES, 2019). Para Beal e Ferreira (2013) este setor é considerado o principal responsável pelo aumento da dificuldade na obtenção de água de qualidade para suprir as necessidades da sociedade, devido não só ao fato do setor industrial usar em grandes

quantidades, mas principalmente pelo volume e qualidade que são devolvidas ao meio ambiente.

A substituição da água potável por água de reuso, onde for possível, ajuda a manter a sustentabilidade desse valioso recurso, conforme enfatizam Schulz e Henkes (2013) e ainda lembram que a água já utilizada no processo industrial muitas vezes tem qualidade superior à captada em rios, tornando este processo viável ambiental e economicamente, já que tratar esta água ou reutilizá-la para fins menos nobres, se torna mais barato. Em situações onde altos padrões de qualidade não são necessários, como irrigações, resfriamento de motores, caldeiras, entre outros, utilizar água de “segundo uso” pode ser uma alternativa viável, barata e ambientalmente responsável.

No setor da construção civil deve-se observar o relato de pesquisadores como Neville (2000) o qual afirma que “Na produção do concreto a água é utilizada em quatro etapas, sendo elas: lavagem dos agregados, amassamento do concreto, limpeza dos equipamentos e cura, cujos requisitos são similares, porém não idênticos”.

Já Hannad et al (2013) verificou que para cada litro de água utilizada para produzir concreto e materiais similares, como argamassas, é necessário 2,5 vezes mais litros de água para as atividades periféricas.

Segundo Hespanhol (2003), a indústria da construção civil é um dos setores onde o reuso pode ser viabilizado, incluindo para as atividades de produção e cura de concreto. Silva e Naik (2010) afirmam que mais pesquisas são necessárias sobre o reuso da água na indústria do concreto no Brasil, pois são poucos os trabalhos publicados sobre o tema. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da utilização de águas residuárias para produção de concreto, à luz da NBR 15.900 (2009).

O reuso da água é uma realidade necessária no setor da construção civil especialmente porque para este consumo a água não depende de parâmetros tão rígidos quanto para o consumo humano e as empresas têm potencial financeiro para implementar as atividades e equipamentos necessários. No passado, quando a disponibilidade de água não era preocupante, existia a recomendação nos cursos do setor de construção baseada na famosa frase: “Se a água é boa para beber, é boa para o concreto”. Esta ideia felizmente foi abandonada e após muitos estudos realizados e pesquisas comprovadas, atualmente busca-se parâmetros limites para garantir a resistência e durabilidade do concreto e para tanto a água de reuso de variadas fontes pode ser aplicada na produção de insumos para a construção civil de forma simples e com baixo custo agregado.

2.1.4- Consumo de água nas escolas técnicas, universidades e laboratórios didáticos.

Em geral o consumo de água nas escolas e universidades não é tema relevante para administradores, que muitas vezes passam despercebidos os valores pagos e quantidades consumidas pelas entidades, sendo em muitos casos subsidiados pelo poder público e não são assuntos de debates e observações. Em muitas cidades brasileiras, o consumo de água tratada é base para a cobrança do volume de esgoto lançado na rede pública, tendo variações de valores que podem chegar a 100% do consumo de água tratada, conforme o tipo de tratamento de esgoto oferecido naquela região ou bairro, onerando mais, quanto mais água tratada é consumida. É preciso que se desperte a conscientização dos administradores, estudantes e comunidade estudantil, com atos que possam minimizar o consumo e desperdícios de água tratada nas escolas, principalmente em escolas técnicas e universidades que possuem corpo técnico qualificado e que possam sugerir sistemas de reutilização da água ou captação de fontes alternativas para elaboração de tarefas e serviços em que a água tratada possa ser substituída por água de reuso. Cabe a cada professor refletir sobre o assunto e desenvolver senso crítico nos estudantes, promovendo iniciativas que possam ser compatibilizadas com os potenciais e realidades de cada escola.

Conforme afirmam Martins e Rufino (2016), as atividades realizadas pela água da chuva captada são as que permitem o uso de água não potável, como para rega de jardim, limpeza de pátios, descargas em bacias sanitárias, lavagem de veículos, usos industriais, uso em reservatórios de incêndio. Segundo a (CHAIB, 2016), esses sistemas poderiam gerar uma redução de 50% no volume de consumo de água potável.

2.2- Concreto de cimento Portland

2.2.1 - Conceito de concreto

De acordo com o IBRACON (2009), o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo. Sua composição básica é cimento Portland, areia, brita e água. O concreto é um material que se adapta às mais diversas situações na engenharia e seu custo é relativamente baixo (quando comparado aos demais materiais de construção), tornando-o preferido por projetistas das mais diversas áreas da construção civil.

O concreto é uma mistura de areia, cimento e água, contendo também cascalho de rocha ou cascalho que o torna muito mais forte e mais durável do que argamassa (FARIA et al., 2019).

De acordo com Neville e Brooks (2013, p. 2), “concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante”, onde na maioria das vezes o meio cimentante é o produto da reação entre cimento hidráulico e água.

Conforme Duart et al (2016), quando se usa apenas a expressão concreto, refere-se ao material de construção ou, como muitos autores preferem, concreto simples. Existe outra expressão, concreto armado, que se refere a elementos compostos de concreto simples e reforçados com barras de aço ou comumente chamadas de armadura ou ainda ferragem.

2.2.2- Traço do concreto

O termo traço define a composição do concreto e pode ser expresso pelas quantidades exatas de cada componente (cimento, areia, agregados, aditivos, adições, água etc.) em massa, volume ou ainda da combinação dessas (DUART, 2016).

Também pode ser expresso de forma proporcional entre os componentes em relação ao cimento como, por exemplo, 1:3:5 (cimento, areia e agregado) onde se lê “um para três para cinco”. Neste caso ainda se deve definir se a proporção é em massa ou volume, a relação entre água e cimento e o percentual ou quantidade absoluta de adições e aditivos, se for o caso. Os requisitos mínimos para os materiais que compõem o traço de concreto são estabelecidos pela ABNT NBR 12.655:2015. Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

2.2.3- Aplicação do concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland é bastante utilizado por 4 razões principais:

1. sua excelente resistência à água - usado como aqueduto desde os romanos;
2. possui alta capacidade plástica de se moldar na forma e tamanho necessários aos mais diferentes projetos. Esta alta capacidade plástica se dá pelo fato de o concreto fresco apresentar consistência plástica, que favorece o fluxo do material para o interior das formas;
3. seu baixo custo e a alta disponibilidade de seus componentes;
4. sua característica de aceitar qualquer condição de composição, alterando-se: traço, agregados, aditivos etc., ou seja, pode-se criar várias composições de pastas de concreto diferentes. Não existe a receita de concreto ideal, mas sim a composição mais adequada para cada aplicação necessária, a ser discutida com o engenheiro responsável pelo dimensionamento do concreto.

Obras de construção civil

Obras residenciais como casas, edifícios, também obras de infraestrutura como pontes, viadutos, barragens e obras de saneamento entre tantas, são exemplos do quanto o concreto de cimento Portland está presente na vida das pessoas e do nível de importância que ele apresenta.

Nas obras de construção civil, o concreto armado é amplamente utilizado em diversos tipos de construções e, apesar de não ser a única solução para a construção de estruturas, é a mais utilizada no mundo, pois reúne características de durabilidade e resistência à compressão do concreto com a característica de resistência à tração do aço.

Materiais componentes do concreto

A água para amassamento do concreto

A água é responsável pelas reações de hidratação do cimento Portland, fornecendo plasticidade na mistura e chega a representar 20 % do volume do concreto. No preparo do concreto deve-se ter atenção em especial à qualidade e à quantidade da água utilizada.

A água de abastecimento público é adequada para o concreto e já vem sendo utilizada, não necessitando de ensaio. A água potável, que atende a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma ABNT NBR 15900-1/2009 - água para amassamento de concreto, podendo ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto.

A água de esgoto, mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concreto pelo menos *in natura* ou ainda em percentuais de diluição não testados.

Quando a água vem de fontes subterrâneas, ou quando é de captação pluvial ou ainda oriunda de processo residual industrial, pode ser boa para uso do concreto, mas deve ser testada. No caso de água salobra (água com salinidade entre a da água do mar e as chamadas águas doces) também pode ser utilizada, contudo, somente no concreto não armado. Em ambos os casos, segundo a norma, a água deve ser ensaiada. Portanto, água do mar não deve ser usada em concreto armado ou protendido.

A norma de água ABNT NBR 15900-1/2009 foi dividida em onze partes e na parte 1(requisitos) classifica a água em função de sua origem e estabelece todos os requisitos que devem ser obedecidos para que possa ser usada para a preparação do concreto. Entre esses requisitos estão a quantidade de cloretos e de sulfatos aceitáveis na água, além de outros elementos e características físicas.

Já a água de amassamento é um fator que interfere diretamente na qualidade do concreto, seja na própria composição ou na relação água/cimento. A relação água/cimento é um fator que influencia na suscetibilidade do concreto ao ingresso de agentes externos, pois interferem na porosidade, permeabilidade e capacidade de absorção (HELENE e ANDRADE, 2007).

Parâmetros da qualidade da água para concreto

A água de abastecimento público é adequada para o concreto, não necessitando de ensaios. No quadro 3, é mostrado o procedimento de ensaio para inspeção preliminar da água destinada ao amassamento de concreto.

Quadro 3: Procedimentos de ensaios para inspeção preliminar da água destinada ao amassamento de concreto.

Parâmetros	Requisitos
Óleos e gorduras	Não mais que traços visíveis
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 minutos
Cor	A cor deve ser comparada qualitativamente com a água potável devendo ser amarelo claro a incolor, exceto para água classificada em 3.3
Material sólido	Máximo de 50 000 ml/L
+Odor	Águas classificadas em 3.3 não deverão apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfato de hidrogênio após a adição de ácido
	Águas de outras fontes devem ser inodoras e sem odor de sulfato de hidrogênio, após a adição do ácido clorídrico
Ácidos	pH > ou = 5
Matéria orgânica	A cor da água deve ser mais clara ou igual a solução-padrão após a adição do NaOH

Fonte: Adaptado de ABNT 15900-3. 2009

A norma ABNT NBR 15900-1/2009 prevê, ainda, a reutilização de água de processos industriais em alguns casos, desde que atendidos os parâmetros exigidos para durabilidade do concreto e das estruturas de concreto. São eles: Lavagem de betoneiras; Processos de corte; Moagem; Jateamento; Fresagem de concreto. Tal norma prescreve que a água destinada ao amassamento do concreto deverá ser isenta de teores prejudiciais e de substâncias estranhas.

Agregado graúdo e agregado miúdo

“Agregado é um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

O agregado é, geralmente, granular, sem forma e volume definidos, com dimensões características e propriedades adequadas para a preparação de argamassas e concretos (NBR 9935/05).

Quanto à dimensão de suas partículas, a ABNT (NBR 7211/1987) define agregado da seguinte forma:

Agregado miúdo: Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm (peneira de malha quadrada com abertura nominal de “x” mm, neste caso 4,8 mm) e ficam retidos na peneira de malha 0,150 mm.

Agregado graúdo: o agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira de malha 152 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,8 mm.

Aglomerantes, aditivos e adições

Aglomerantes

Aglomerante é o material ligante, ou seja, o material usado para fixar a aglomeração (união) de outros materiais na formação de um material composto como argamassa e concreto, por exemplo.

Os aglomerantes podem ser minerais como cimento, cal e gesso, também podem ter origem de hidrocarbonetos como o asfalto e ainda serem sintéticos como colas brancas ou outras. Nesta pesquisa o aglomerante utilizado é o cimento Portland CP IV-32.

Cimento Portland.

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico fabricado pela moagem do clínquer, compostos de silicato e cálcio hidráulicos. Os silicatos de cálcio são os principais constituintes do cimento Portland, as matérias primas para a fabricação devem possuir cálcio e sílica em proporções adequadas de dosagem.

Existem no mercado muitos tipos de cimento e então o responsável pelo concreto deve saber o tipo de cimento usado e suas principais características, conforme o quadro 4.

Quadro 4: Cimentos brasileiros conforme norma ABNT NBR 16697/2018.

Tipo	sigla	% de clínquer*	Composição (% em massa)		
			Escória de Alto Forno	Material Pozolânico	Filer Calcário
			E	Z	F
Comum	CP I	100	0	0	0
Composto	CP II-E	56 - 94	6 - 34	0	0 - 10
	CP II-Z	76 - 94	0	6 - 14	0 - 10
	CP II-F	90 - 94	0	0	6 - 10
Alto Forno	CP III	25 - 65	35 - 70	0	0
Pozolânico	CP IV	45 - 85	0	15 - 50	0
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	95 - 100	0	0	0 - 5
Branco	CPB	50 - 74	0	0	26 - 50
Branco Estrutural	CPB (25,32 e 40)	75 - 100	0	0	0 - 25

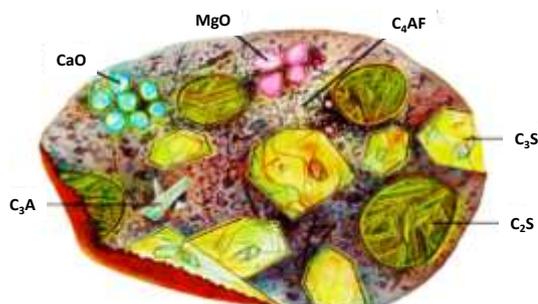
* já considera a adição de gesso

Reação química de hidratação do cimento Portland

As fórmulas químicas na química do cimento são frequentemente expressas como somas de óxidos; assim, o silicato tricálcico, Ca_3SiO_5 também chamado de Alite, pode ser escrito como $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ou C_3S . É usual abreviar as fórmulas dos óxidos comuns para letras simples, como C para CaO ou S para SiO_2 , Ca_3SiO_5 tornando-se C_3S . Este sistema é frequentemente combinado com notação química ortodoxa dentro de uma equação química: $3\text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$ (Taylor, 1997).

Taylor (1997), propõe a nomenclatura que é usada como padrão pelos pesquisadores de produtos cimentícios:

C=CaO; **S=SiO₂**; **A=Al₂O₃**; **F=Fe₂O₃**; **M=MgO**; **K=K₂O**; **S=SO₃**; **N=Na₂O**; **T=TiO₂**; **P=P₂O₅**; **H=H₂O**; **CH=Ca(OH)₂** e **C-S-H = CaO•2SiO₂•3H₂O**. No C-S-H a separação por traços foi adotada porque este produto de hidratação tem estequiometria variável. Dessa forma fica fácil a compressão das equações e reações químicas envolvendo os componentes do cimento Portland, sendo este uma partícula ativa composta por muitos elementos seja no estado hidratado, endurecido ou estado anidro, conforme Figura 3.

**Figura 3:** Grão de cimento Anidro.

Fonte: Adaptado de Saleh e Rahman (2018)

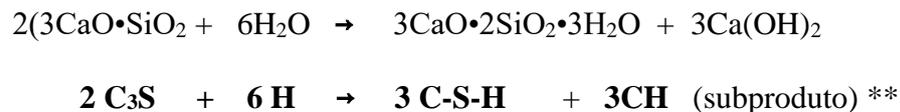
Alite (C_3S puro) é o constituinte mais importante de todo cimento Portland, dos quais constitui 50-70%. O C_3S puro contém 73,7% de CaO e 26,3% de SiO_2 , conforme Taylor (1997). Este componente reage rapidamente com a água e, em cimentos Portland normais, é o mais importante para o desenvolvimento da resistência até os 28 dias. Normalmente 70% do C_3S reage em 28 dias e quase tudo em um ano, Taylor (1997).

Hidratação C_3S .

O C_3S reage com a água, gerando principalmente um gel de Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H) pouco cristalino e muito hidróxido de cálcio (CH) (também chamado Portlandita) como produto secundário de hidratação, conforme equações 1 e 2. A composição C-S-H varia em uma ampla faixa, enquanto o CH é um material cristalino com composição fixa, Taylor (1997).

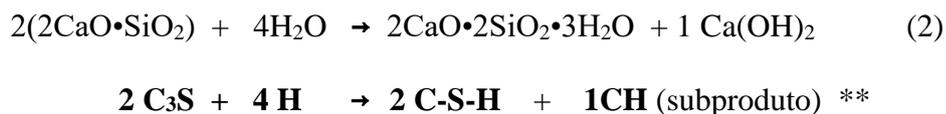
Hidratação do C_2S equação 1 e C_3S equação 2, (DUART,2017):

Equação 1: Hidratação do C_2S



(Silicato tricálcico) + (água) = (Silicato de Cálcio Hidratado) + Hidróxido de Cálcio (Portlandita)

Equação 2: Hidratação do C_3S



(Silicato tricálcico) + (água) = (Silicato de Cálcio Hidratado) + Hidróxido de Cálcio

**notação proposta por Taylor (1997)

No contato com a água as partículas de cimento iniciam o processo de hidratação no qual o cimento é separado em silicatos de Cálcio que se hidratam formando os silicatos de cálcio hidratado, que é um material em escala nanométrica, cuja equação estequiométrica não é bem definida e, por isso, são representados com traço entre os componentes (C-S-H) onde: C= CaO , S= SiO_2 e H= H_2O (DUART, 2017).

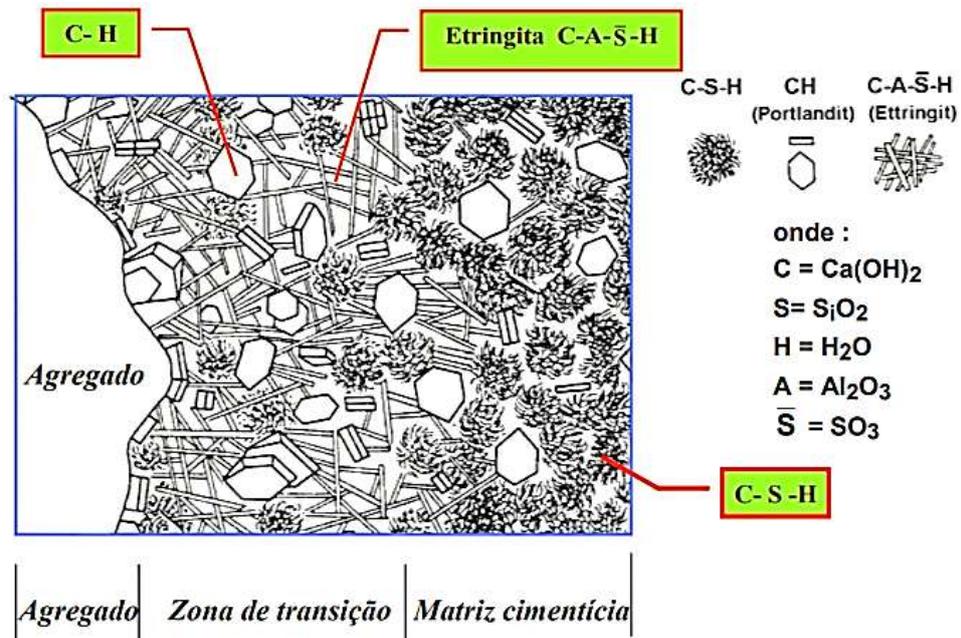


Figura 4: Produtos de hidratação de materiais cimentícios.
 Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro, 1994

Durante o processo de hidratação do cimento Portland é produzido silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) como subproduto da reação conforme equação 1 e 2. Em seguida ocorrem a reação pozolânica que é reação secundária entre a pozolana (material rico em SiO₂, geralmente cinzas como a proveniente da queima de carvão mineral e que são adicionadas em alguns tipos de cimento como CP IV) com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação, segundo equação 3. Então acontece nova produção de C-S-H, chamado de secundário.

Equação 3: Reação Pozolânica



**notação proposta por Taylor (1997)

Aditivos

Segundo a NBR 11768 (ABNT 2011), aditivo é o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5 % da massa de material cimentício contida no mesmo, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido.

Conforme a NBR 11768/2011 aditivo é o produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.

Em se tratando de aditivos, o Instituto Brasileiro de Impermeabilização, IBI (2017) afirma que estes “são produtos químicos, usados na composição do concreto e/ou argamassa, adicionados à massa imediatamente antes ou durante a mistura com o objetivo de melhorar suas características no estado fresco ou endurecido”.

Os aditivos para concreto comumente utilizados são: Plastificantes; Retardadores; Aceleradores; Incorporadores de ar e Superplastificantes.

Adições

Segundo Duarte 2020, adições são materiais adicionados ao cimento, no processo de fabricação, para melhorar características de durabilidade, modificar o tempo de pega e também contribuir para o aumento da resistência de concretos e argamassas.

São adicionadas ao clínquer e moídas juntamente com este para se obter uma mistura homogênea. As adições mais comuns são: escória de alto-forno; cinzas pozolânicas e materiais carbonáticos.

As escórias de alto-forno são resíduos (material semelhante a grãos de areia) da produção de ferro-gusa na indústria do aço. Seu uso confere melhorias de algumas propriedades, como maior durabilidade, resistência final e reduz a geração de calor de hidratação.

As cinzas pozolânicas usadas na indústria do cimento têm na sua maioria as cinzas resultantes da queima do carvão nas termelétricas, as chamadas *cinzas volantes*. Essas cinzas pozolânicas são materiais ativos ricos em silício e reagem com o hidróxido de cálcio (produto de hidratação do cimento Portland). Esta reação chama-se reação pozolânica. São acrescentadas e moídas junto com o clínquer.

Os materiais pozolânicos, como as cinzas resultantes da queima de cascas de arroz a sílica ativa (subproduto da produção ferrosilício), são possíveis de se adicionar aos cimentos.

Os cimentos com adições pozolânicas tem menor geração de calor e menor velocidade de hidratação, porém conferem em idades avançadas (acima de 90 dias) aumento da resistência de concretos e argamassas.

Materiais carbonáticos são rochas carbonáticas moídas até o tamanho de filer (material de enchimento), que conferem maior trabalhabilidade, pois os grãos têm dimensões reduzidas e de formato esférico, conferindo um efeito lubrificante. Também contribuem para a durabilidade de concretos e argamassas, além favorecer o aumento da resistência à compressão

2.2.4- Propriedades do concreto fresco

Concreto fresco é material que já está completamente misturado e pronto para uso e, neste caso, encontra-se em estado plástico e com suas propriedades suficientes para o lançamento e adensamento dentro do plano de concretagem definido.

Trabalhabilidade

É a propriedade que se refere às tarefas de lançamento e adensamento, ou seja, a facilidade de se trabalhar com o concreto desde o momento do seu transporte até o lançamento e adensamento.

A trabalhabilidade pode ser avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme ABNTNBR NM 67/1998 que visa medir a consistência e a fluidez do material, permitindo que se controle a uniformidade do concreto.

Quanto maior for a trabalhabilidade do concreto mais facilidade haverá em todas as etapas desenvolvidas no concreto em estado fresco. A trabalhabilidade pode ser modificada de variadas formas, desde a mais comum e menos indicada que é adição de água (porque compromete a resistência mecânica do concreto) passando por modificações de dosagem (modificando proporções de argamassa, tamanho e formato de agregados, uso de adições minerais, entre outras), até adicionando produtos químicos como plastificantes e superplastificantes.

Plasticidade

A plasticidade é uma propriedade relacionada à trabalhabilidade.

É a capacidade do concreto de estar no estado plástico, ou seja, de poder se deformar facilmente e preencher as formas onde será lançado e devidamente adensado seja por processos mecânicos seja por auto adensamento.

Para lançamento em formas de estruturas convencionais a maior trabalhabilidade será atingida pelo concreto plástico, pois facilitará o lançamento e o adensamento, Duart (2020).

Segregação

A segregação é a separação dos materiais componentes do concreto, o fenômeno que acontece preferencialmente em concreto com dosagem inadequada que provoca a perda da homogeneidade do concreto, separando agregados da pasta e até mesmo deslocamento da água e pasta de cimento. Tal propriedade está relacionada aos teores inadequados de materiais finos na dosagem do concreto ou excesso de água.

Também pode ser provocado por fatores externos como o transporte inadequado como é o caso de carrinho de mão, que provoca a decantação dos agregados e a separação da argamassa ou pasta do concreto. A NBR 14931-2004 - Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento, estabelece cuidados como o excesso de vibração que também pode provocar segregação, ou lançamento em alturas elevadas entre outros fatores.

2.2.5- Propriedades do concreto endurecido

Resistência mecânica

Conforme Duart et al. (2016) é a propriedade mais importante do concreto principalmente para fins estruturais.

O concreto é usado como um material rígido que apresenta resistência principalmente a esforços de compressão. Para fins de construção civil, basicamente resistência à compressão, resistência à tração do concreto e módulo de elasticidade são relevantes, para a maioria das aplicações, embora seja possível determinar outras propriedades mecânicas como dureza, tenacidade entre outras.

A resistência à tração ou compressão é expressa e Mega (10^6) Pascal(KN/m²) ou 1 MPa, uma unidade de tensão.

Quando se encomenda ou se produz a resistência que se pretende atingir é chamada resistência característica. No caso da resistência à compressão a *resistência característica* é chamada f_{c_k} .

O termo característico significa que no ensaio de compressão 95% dos resultados devem estar acima da resistência para a qual foi projetado. Um concreto $f_{c_k}=25\text{MPa}$, significa que 95% dos exemplares ensaiados devem ultrapassar 25 MPa.

A resistência do concreto pode ser determinada para qualquer idade, porém, quando não se especifica a idade, ele deve ser ensaiado aos 28 dias.

Os concretos brasileiros podem ser classificados conforme norma NBR 8953/2009 (Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência

e consistência) em função da sua resistência à compressão, recebendo a abreviatura da letra “C” que significa Concreto seguido por um número que expressa a resistência mecânica à compressão. Por exemplo, um concreto de classe C35 possui resistência mínima de 35 MPa.

Durabilidade

A durabilidade pode ser definida como a capacidade do concreto em resistir ao ataque químico, intempéries, abrasão, ou qualquer outro tipo de deterioração (PETRUCCI, 1987). O concreto está sujeito a ações externas, sejam estas de natureza física, sejam de natureza química ou de ambas as condições.

A preocupação com a durabilidade do concreto passou a ser um tema explorado nos meios acadêmicos, com o intuito de explicar a deterioração, em muitos casos precoce, experimentada pelo concreto. Há que se ressaltar que a durabilidade de um concreto muito dependerá do ambiente em que estará inserido durante o transcorrer de sua vida, de forma como este será tratado, mantido, usado e protegido.

É uma das propriedades mais importantes, pois está relacionada com a vida útil dos elementos construídos em concreto. O concreto como visto é resistente às tensões (compressão e tração), porém de nada adianta suportar as tensões por tempo limitado. A durabilidade de um material garante que ao longo da vida útil projetada para a estrutura ou obra, as características dos materiais se mantenham. O concreto deve então ser resistente aos ataques do meio ambiente e não se deteriorar antes do período previsto (DUART et al., 2016).

A expressão mais singela do ataque do meio sobre o concreto pode ser representada pela carbonatação, que sempre se manifesta com maior ou menor intensidade, dependendo das características do concreto e do grau de agressividade do meio ao qual está inserido, segundo (RECENA, 2011).

A durabilidade e a vida útil da estrutura dependem, além das características do concreto e de fatores de execução, fundamentalmente das condições ambientais às quais será submetido (REBMANN,2011).

Os parâmetros de resistência e durabilidade estão ligados às propriedades dos materiais que compõem o concreto, a sua exposição ao longo do tempo e ao ambiente ao qual será inserido, bem como os agentes agressivos presentes no ambiente e ou materiais. Neste contexto, o mais importante é a resistência da estrutura ao meio ambiente, e este fator não depende somente da qualidade do concreto, mas também fatores como de execução, do uso e aplicação

correta, bem como de critérios de projeto que sejam adequados para a utilização do concreto (REBMANN, 2011).

Segundo a NBR 15575:2013, Desempenho de Edificações Habitacionais, a Vida Útil do Projeto (VUP) mínima para estruturas de concreto deve ser igual ou superior a 50 anos.

Carbonatação

Para Dilonardo et al. (2015) a carbonatação é um fenômeno que afeta a durabilidade do concreto armado e requer cuidado, uma vez que pode, num estado avançado, prejudicar a capacidade resistente da estrutura com a armadura despassivada.

O processo de carbonatação ocorre devido às reações de CO₂, presentes no ar (0,03% a 1,0% em volume), com os hidróxidos alcalinos presentes no material. Isso ocorre especialmente com o hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂ em meio aquoso, formando o carbonato de cálcio e reduzindo o pH, inicialmente em torno de 13,0 para valores próximos de 8,0 (DILONARDO et al. 2015).

Conforme Dilonardo et al. (2015) a velocidade com que a frente de carbonatação avança depende da estrutura da rede de poros do material, bem como das suas condições de umidade.

A permanente e constante umidade em porcentagem adequada nos poros do concreto é fator fundamental para que haja carbonatação do material, pois não ocorre carbonatação se os poros do material estiverem saturados ou com pouca umidade. Segundo Silva (2007), a melhor taxa de umidade para ocorrer a carbonatação é entre 50% e 75%. Para umidade relativa abaixo de 25% a carbonatação é considerada insignificante e quando superior a 75%, a umidade presente nos poros restringe a penetração do dióxido de carbono.

O processo de carbonatação é um processo lento e a frente de carbonatação avança com uma velocidade quantificada pelo coeficiente de difusão do CO₂ nos poros do concreto, conforme a equação abaixo:

Equação 4: Carbonatação



O procedimento para o ensaio de carbonatação acelerada consiste em submeter as amostras a um ambiente com controle de temperatura, umidade relativa e uma concentração de CO₂ maior que a encontrada na atmosfera, geralmente dada pela quantidade em volume de gás introduzido na câmara de carbonatação (PAULETTI, 2004).

Efeitos da carbonatação nos concretos de cimento Portland

A elevada alcalinidade da solução dos poros do concreto favorece a formação e manutenção da camada passivadora do aço no interior do concreto. Essa alcalinidade (pH entre 12,5 e 13,5) é obtida principalmente devido à formação da Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que é gerada durante a hidratação do cimento, segundo equação 1, mas outros álcalis presentes na pasta também contribuem para essa condição. Segundo (ANDRADE, 1992), os principais agentes que podem ocasionar a despassivação das armaduras são a carbonatação do concreto e a presença de cloretos, embora possam existir outros agentes como água ácida, fungos, fuligem, fissuras, reações expansivas com sulfatos entre outros.

Na carbonatação o CO_2 penetra para o interior do concreto por difusão, predominantemente, sendo que a absorção capilar e a migração de íons não se aplicam ao caso e dificilmente haverá diferenças de pressão que possibilitem a ocorrência de mecanismos de transporte do tipo permeabilidade (HELENE e ANDRADE, 2007). A penetração e a reação de carbonatação ocorrem gradualmente, gerando uma camada que aumenta de espessura ao longo do tempo, esta camada é denominada frente de carbonatação, Figura 5 (a) que através dos poros do concreto atinge uma profundidade de carbonatação, conforme é mostrado na Figura 5 (b) abaixo:

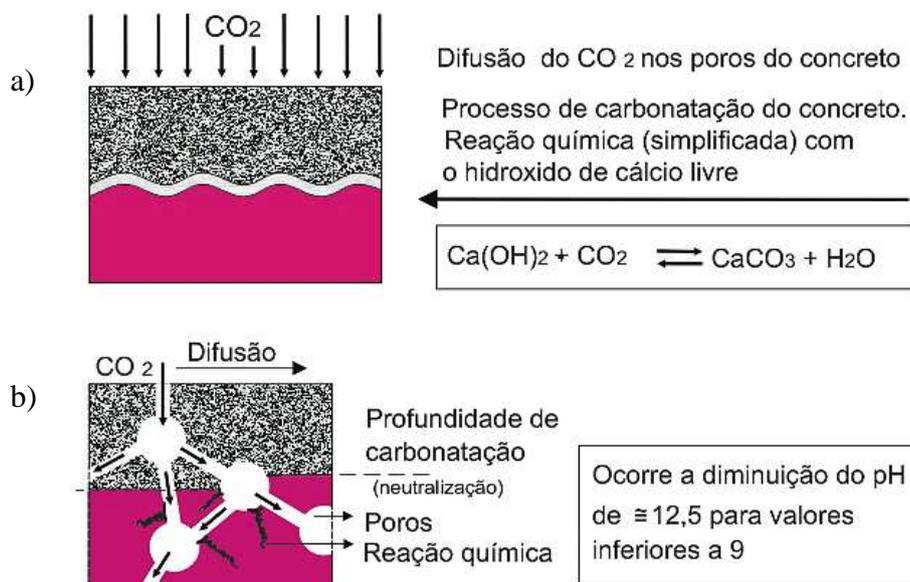


Figura 5: Carbonatação

a) Frente de carbonatação em concretos b) Profundidade de carbonatação em concretos

Fonte: Adaptado de (FIGUEIREDO, 2005)

Na Figura 6 é apresentado o efeito real da carbonatação em estruturas de concreto armado.

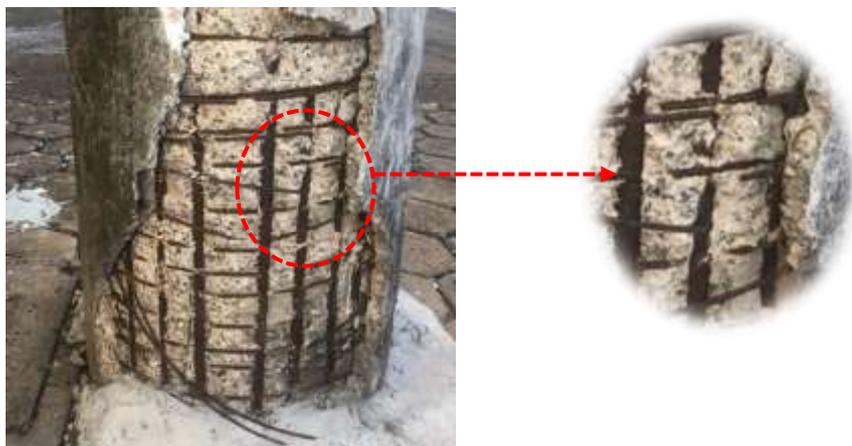


Figura 6: Efeito da carbonatação em estruturas de concreto armado

2.3- Sustentabilidade da construção civil

A expansão da economia e da indústria por muito tempo foi a maior preocupação de caráter global. Para isso então se fez necessária a produção industrial em larga escala de tal forma que não se atentaram aos impactos diretos e indiretos ao meio.

Para Faria et al.(2019) deve-se controlar o uso de materiais e insumos, tendo em vista um sistema de produção que utilize fontes renováveis de matérias primas, que reduza o consumo de água e energia, que não gere resíduos tóxicos ou perigosos e que seus produtos sejam seguros e tenham uma vida útil longa.

É de fundamental importância discutir e incentivar as práticas de sustentabilidade na construção civil, setor que consome 42% da energia produzida no país, e buscar soluções inovadoras de baixo carbono e uso de soluções ecológicas, pois segundo o Green Building Council Brasil-2013, a construção civil é responsável por até 40% das emissões globais de CO2 e respondem por cerca de 60% dos resíduos produzidos.

Introduzir na arquitetura sistemas projetuais que possibilitem reduzir os desperdícios na execução das edificações, com materiais mais eficientes e duráveis, pré-elaborados e dimensionados de maneira inteligente evita cortes e sobras.

2.3.1 - Reaproveitamento de resíduos da construção civil

Dentre as atividades antrópicas mais causadoras de impacto, vale ressaltar a indústria de construção civil, em especial as usinas de concreto, são grandes consumidoras de matéria prima e insumos in natura. A Construção Civil não é destaque somente como indústria de

grande impacto na economia, ela também é a responsável por produzir 50% dos resíduos do país (FARIA et al., 2019).

Diante do exposto, em relação à degradação que a área da construção civil gera, é necessário apresentar e determinar as possibilidades de se reduzir o impacto ambiental negativo resultante dos processos construtivos, e uma forma de amenizar os mesmos, é a implantação da Produção Mais Limpa – PML, que prioriza a prevenção, mas também possibilita a reutilização de resíduos e efluentes (ARAÚJO, 2002).

No caso dos efluentes, os quais podem ser considerados como qualquer líquido ou gás gerados nas distintas atividades humanas e que são descartados na natureza, poderão ser usados para atividades secundárias, tais como, a umidificação das vias de acesso às instalações do canteiro de obras (RIBEIRO, 2011).

Resíduos sólidos

No Brasil, em 2018, foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, um aumento de pouco mais de 1% em relação ao ano anterior. Desse montante, 92% (72,7 milhões), foram coletados, uma alta de 1,66% em comparação a 2017, o que mostra que a coleta aumentou num ritmo pouco maior que a geração. Apesar disso, 6,3 milhões de toneladas de resíduos ficaram sem ser recolhidos nas cidades (AGÊNCIA BRASIL, 2019).

Na indústria da construção civil, quando se fala de construção e demolição, o lixo é gerado por entulho, solos descartados, madeiras, latas de tintas, gesso entre outros.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, (ABRELPE), o Brasil produz em média 31 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) por ano.

Para a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon, 2017), os impactos pela construção vão além do canteiro de obras. Estima-se que a cadeia de ações da construção civil seja responsável pelo consumo de cerca de 50% (cinquenta por cento) de todos os recursos naturais disponíveis, renováveis e não renováveis, enquanto os desperdícios e resíduos chegam a representar 50% do material utilizado no segmento, sendo 40% mais barato reciclar ou reutilizar os materiais da construção civil, do que descartar os resíduos nos locais apropriados.

A Resolução do Conama nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos a serem adotados por governos municipais e agentes envolvidos no manejo e

destinação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), a fim de que os impactos ambientais produzidos por esses resíduos sejam minimizados (BRASIL, 2002).

Ainda, a resolução estabelece que os grandes geradores tenham como objetivo principal a não geração de resíduos e, posteriormente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final adequada. Os resíduos da construção civil devem ser classificados, para efeito dessa resolução e conforme a Resolução do Conama no 431¹, em Resíduos Classe A, B, C ou D, o que é detalhado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos resíduos conforme Conama n° 307-2002, e n° 431-2011

Classes	Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica
A	Resíduos recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, argamassas, concreto, areia e pedra
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeira e gesso
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações econômicas viáveis que permita sua reciclagem ou recuperação
D	Resíduos perigosos como tintas, solventes, óleos e amianto (contaminados)

Diante do exposto, os resíduos da construção civil deverão ser destinados de acordo com sua classificação, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Formas de destinação dos resíduos da construção civil

Classes	Destinação
A	Devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, depositados de modo a permitir sua reutilização ou reciclagem futura
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua reutilização ou reciclagem futura
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidades com as normas técnicas específicas
D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidades com as normas técnicas específicas

Em estudo realizado na Cidade de Pelotas, a composição gravimétrica do RCD gerado no município de Pelotas, RS mostra que a Classe A representa 88% do total de resíduos gerados e o restante é composto principalmente de resíduos Classe B (papel, plástico, vidro e metal). Isso demonstra a parcela significativa de resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis na forma de agregado. Ainda, tem-se a densidade do RCD igual a 1,28 ton/m³ (TESSARO et al., 2012).

Efluentes líquidos

Conforme o Conselho Estadual do Meio Ambiente, CONSEMA, na resolução 355/2017 no seu Art. 2º, parágrafo XVIII: Efluentes líquidos de fontes poluidoras são caracterizados pelo “despejo líquido oriundo de atividades industriais, de drenagem contaminada, de mineração, de criação confinada, comerciais, domésticas, públicas, recreativas e outras.”

O processo industrial é uma atividade que pode contribuir para a contaminação das águas de rios, uma vez que a maioria dos processos produtivos engloba grande quantidade de águas, tendo como consequência a produção de efluentes líquidos contaminados (Freire et al, 2000).

Os resíduos da construção civil, em grande parte, não representam grandes riscos ambientais, devido as suas características químicas e minerais serem semelhantes aos agregados naturais do solo, porém, podem apresentar outros tipos de resíduos como, óleos e graxas dos maquinários, pinturas, aditivos e outros compostos químicos para concreto e colas, que se encontram frequentemente nos efluentes líquidos.

De acordo com a resolução CONAMA 430/2011, o descarte de resíduos e a disposição final dos efluentes precisam ser aprovados pela fiscalização local e devem obedecer às normas do órgão ambiental, concessionária local e restrições ambientais da área de destino.

No Brasil, os efluentes só devem ser lançados nos corpos receptores após receberem tratamento adequado e desde que obedeçam aos padrões, condições e exigências estipulados pela Resolução CONAMA Nº 430/2011.

Na indústria da construção civil, especificamente nas empresas que produzem concreto usinado e que consomem grandes quantidades de água tratada na elaboração dos traços de concreto e lavagem de caminhões betoneiras, pode-se obter ganhos ambientais e econômicos expressivos na reciclagem ou reutilização de água de processos, como água de lavagem de caminhões betoneiras, para elaboração de novos concretos ou execução de serviços inerentes à empresa (Malaguti, 2016).

Oliveira et al. (2017) estudaram o sistema de reaproveitamento de água para lavagem interna de caminhões betoneira na usina de concreto Realmix, Aparecida de Goiânia- Goiás, e fez um levantamento da quantidade total de litros de água comprada, volume utilizado para fabricação de concreto e o volume tratado no decantador. Ele estimou que para a lavagem dos caminhões são utilizados em média 0,8 m³ de água. No sistema de reaproveitamento de água para lavagem de caminhões na indústria em estudo teve uma economia de 14 mil reais em um mês.

Conforme Malaguti (2016), a reutilização em média de 1.338 m³ da água de lavagem resíduos em novos concretos, gerados pela lavagem de 190 caminhões betoneiras de 11 unidades da empresa, pode-se economizar mais de R\$ 80.000 ao mês. Evitando também o pagamento de R\$ 5.100 mensais pelo transporte e destinação final dos resíduos, conforme a resolução 307 através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual determina que haja uma disposição adequada aos resíduos gerados em centrais de concreto.

Os principais parâmetros utilizados para avaliar os efluentes são: níveis de sólidos em suas diversas frações, temperatura, cor e turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO).

Na Tabela 3 são apresentados alguns parâmetros para lançamento do efluente líquido, conforme as resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017, para as análises investigadas neste estudo.

Tabela 3: Parâmetros de lançamento de efluentes líquidos, pH, Turbidez e DQO

Parâmetros de lançamento de efluentes líquidos		
Análises - Unidade	CONAMA 430/2011	CONSEMA 355/2017
pH	5 a 9	6 a 9
Turbidez – (NTU)	≤ 100	-
DQO - (mg/l O ₂)	-	330

Q = 100 ≤ Q < 500

3 - MATERIAIS E MÉTODOS.

No processo experimental seguiu-se a sequência de quantificar o consumo de água tratada, armazenar e tratar o efluente líquido das aulas práticas do curso de Edificações. Posteriormente foi desenvolvido um traço (receita) de concreto que pudesse ser executado na produção dos corpos de prova de ensaios mecânicos e de durabilidade. Para tanto, foi feito estudo preliminar buscando desenvolver um concreto com resistência mecânica que atingisse pelo menos 30 MPa e que tivesse a plasticidade compatível com os concretos usualmente utilizados, tanto nas aulas práticas quanto nas obras de construção civil.

Deste estudo foram determinados: consumo de cimento, quantidade de água de amassamento, relação água/cimento, proporção da mistura dos agregados graúdos e sua quantidade como também a quantidade de agregado miúdo.

Os testes de desempenho mecânico e durabilidade foram todos desenvolvidos nos equipamentos do laboratório de materiais de construção do curso de Edificações e testes químicos realizados nos laboratórios do PPGECA, conforme descritos na sequência.

Os materiais componentes do concreto (cimento, agregados graúdos e agregados miúdos) são os mesmos utilizados nas aulas práticas, os quais são também consumidos nas obras de construção civil na região.

Abaixo se apresentam as variáveis e o organograma que orientou o estudo realizado tanto da parte experimental quanto da parte teórica e revisão bibliográfica que serviu de fundamentação para a pesquisa.

As variáveis independentes

- Tempo de cura: idade onde as amostras foram ensaiadas: 14, 28 e 91 dias.
- Teor de substituição de água tratada por água de reuso: 20, 50, 80 e 100%.
- Período para medição de pH e carbonatação do concreto endurecido: 28, 91 e 200 dias.

As variáveis dependentes

- Desempenho mecânico: resistência à compressão axial simples.
- pH da água de amassamento.
- pH do concreto endurecido.
- Durabilidade: profundidade da frente de carbonatação.

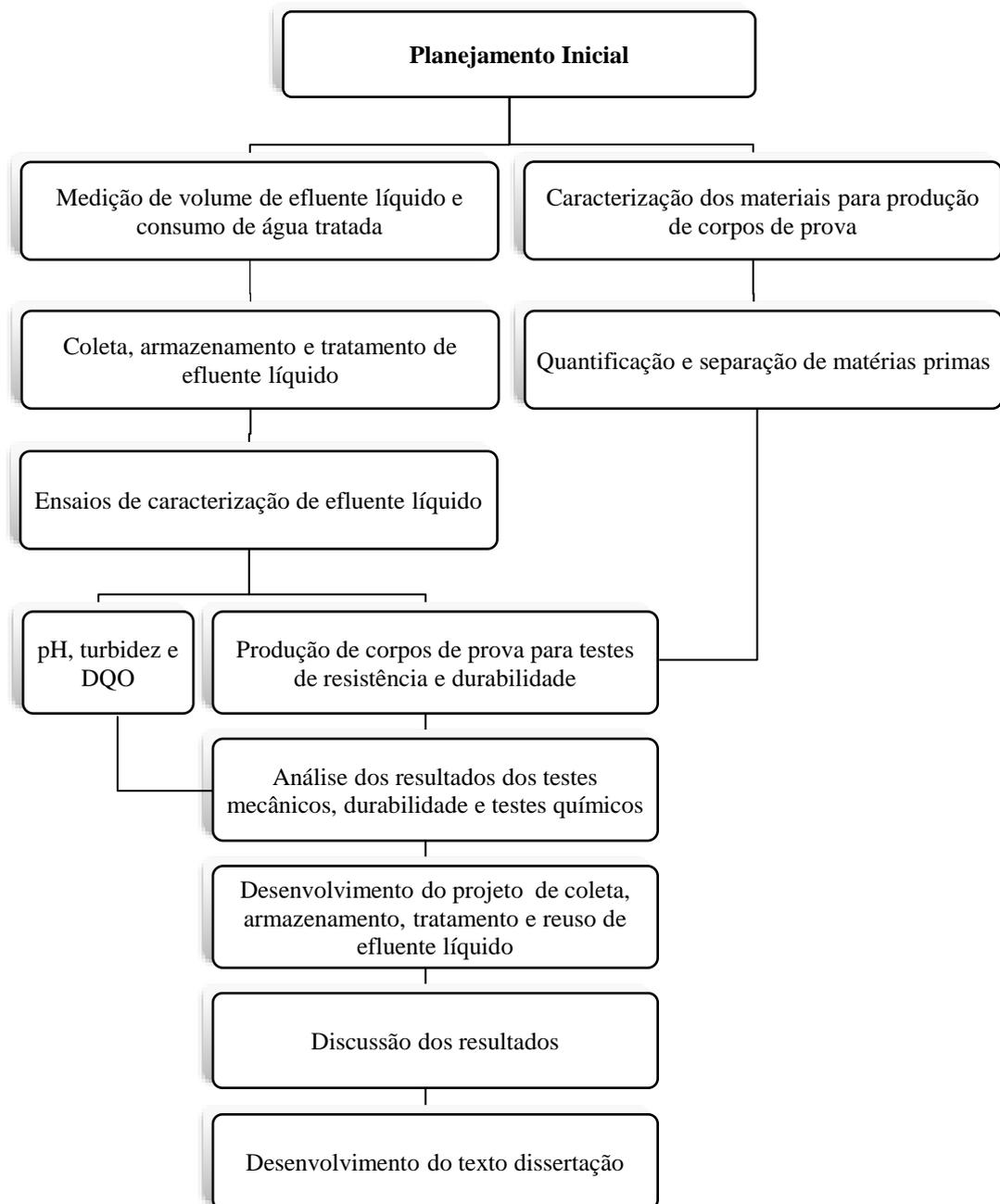


Figura 7: Organograma do trabalho experimental

3.1 - Materiais.

Os materiais utilizados para a produção das amostras de concreto, como brita, areia e cimento foram adquiridos no mercado local e passaram por processos de caracterização e tratamento prévio.

3.1.1-Agregados.

Foram submetidos aos seguintes tratamentos:

- Secagem e remoção de resíduos por peneiramento.
- Caracterização conforme ABNT NBR NM 248/2003 - Agregados – Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.
- Determinação de massa específica e massa unitária.

As caracterizações foram realizadas no laboratório de materiais de construção do curso de Edificações do IFSul, Câmpus Pelotas e serviram para obtenção dos parâmetros para realização do cálculo racional do traço (receita) do concreto utilizado na produção das amostras (corpos de prova) para ensaios.

Os agregados: areia (Figura 8), brita 1 e brita 2 (Figura 9) são provenientes da região de Pelotas, RS. As britas são pedras de origem graníticas e a areia é material natural extraído de rios. Cada material foi adquirido em único lote e armazenado em local adequado para prevenir de sujeiras e intempéris. As quantidades foram racionalizadas para a realização de todos os ensaios, desde a caracterização até para a produção de corpos de prova.



Figura 8: Agregado miúdo, Composição granulométrica da areia utilizada no experimento.



Figura 9: Agregado graúdo, Composição granulométrica da brita 1 e brita 2 (experimento)

Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural de rio, caracterizada segundo norma ABNT NBR NM 248/2003- Agregados - Determinação da composição granulométrica, conforme mostra a Figura 8, acima. Na Figura 10, abaixo, é apresentada a caracterização granulométrica da areia natural utilizada.

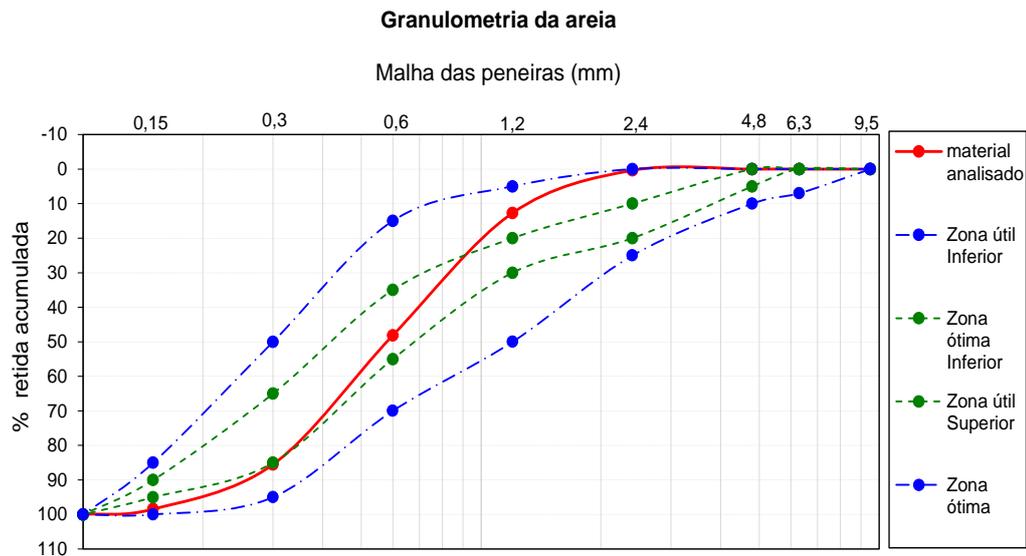


Figura 10: Curva granulométrica da areia natural

Conforme análise, verifica-se que o material utilizado atende os limites de zona útil, portanto, na primeira análise ele é adequado para ser usado na produção de concretos e argamassas. Esta análise é importante, pois no caso do material não atender a zona útil deveria ser substituído por outro ou então realizada uma mistura entre agregados miúdos como areia média e areia fina ou eventualmente até areia grossa.

Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi rocha britada (britas) de origem granítica. Foram caracterizados conforme norma ABNT NBR NM 248/2003- Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Foram realizados ensaios de caracterização para brita 1 e para a brita 2. Também foram testadas composições entre brita 1 e brita 2 para a melhor plasticidade do concreto.

Por fim, determinou-se como resultado que a melhor composição foi: 50% brita 1 e 50% brita 2, figura 13. Na Figura 11 é apresentada a caracterização granulométrica da brita 1.

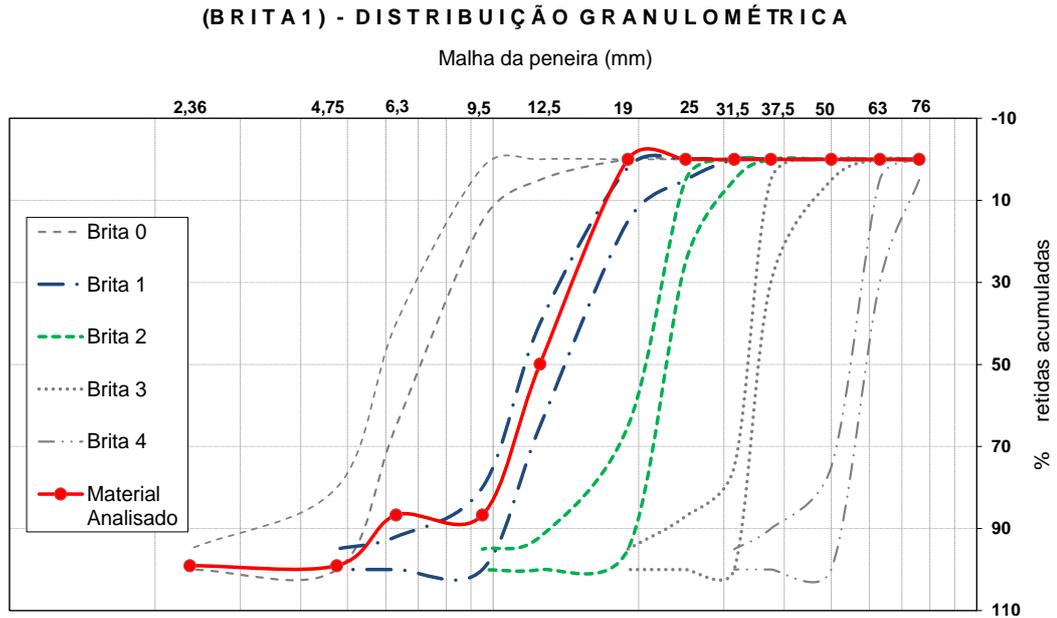


Figura 11: Curva granulométrica – Brita 1

Verifica-se que o material está quase na sua integridade entre as faixas padrões que limitam o material classificado como brita 1. Na Figura 12 é apresentada a caracterização granulométrica da brita 2.

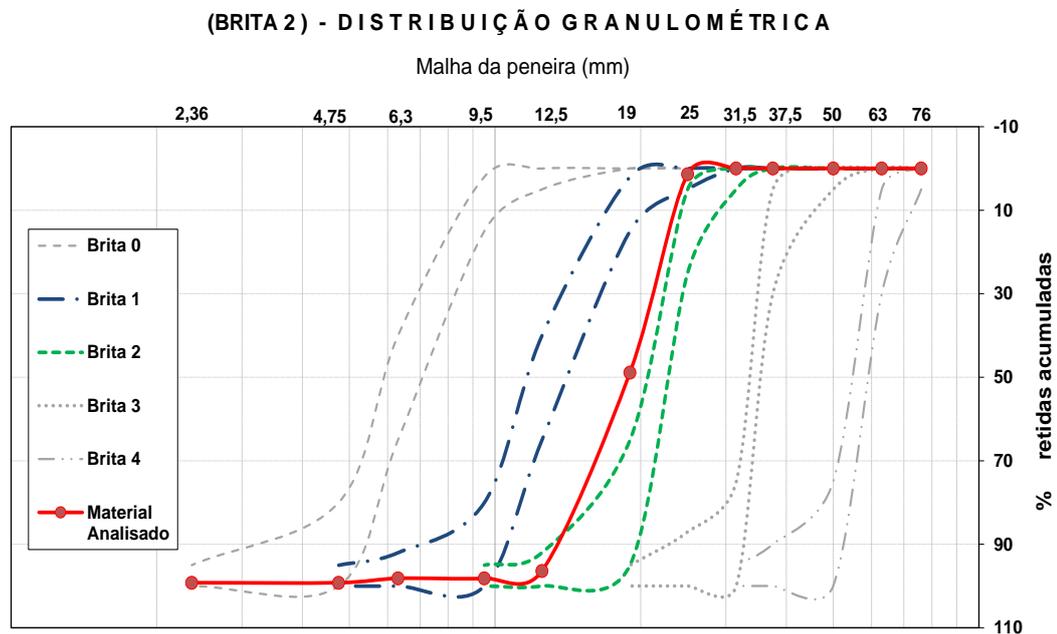


Figura 12: Curva granulométrica – Brita 2

Pela análise da Figura 12, o material sai da faixa padrão de brita 2 nas peneiras acima de 19,0 mm, por isso, buscou-se fazer a composição mistura entre brita 1 e brita 2.

Conforme é apresentado nas figuras acima, 11 e 12, as britas 1 e 2 estavam fora das especificações padrões e, portanto, a composição granulométrica foi necessária, gerando um material intermediário que acabou se enquadrando entre as curvas de brita 1 e brita 2, conforme Figura 13, abaixo.

Neste teste buscou-se a plasticidade do concreto que resultasse no abatimento de 100 mm, com tolerância de 10mm para mais ou para menos, que é o mais usual tanto nas aulas práticas como também nos concretos utilizados na construção civil. Na Figura 13 é apresentada a caracterização granulométrica da brita 1 e brita 2, em proporções de 50%

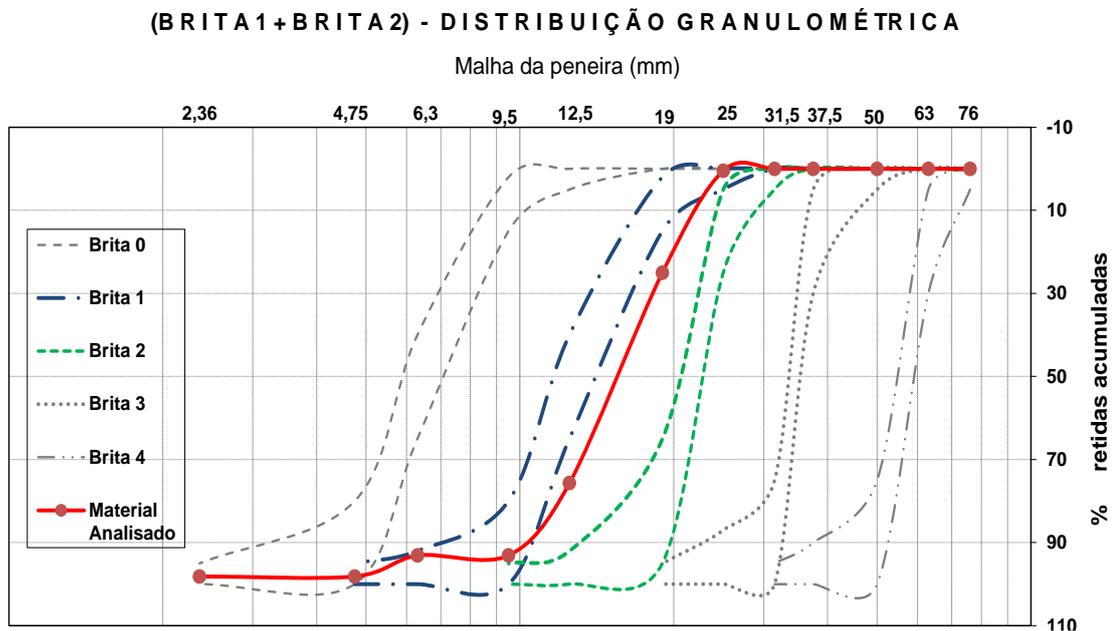


Figura 13: Curva granulométrica – Brita 1 e Brita 2.

O resultado apresentou a melhor plasticidade nos ensaios de abatimento de tronco de cone realizados conforme ABNT NBR NM 67:1998 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, mostrado na Figura 14.

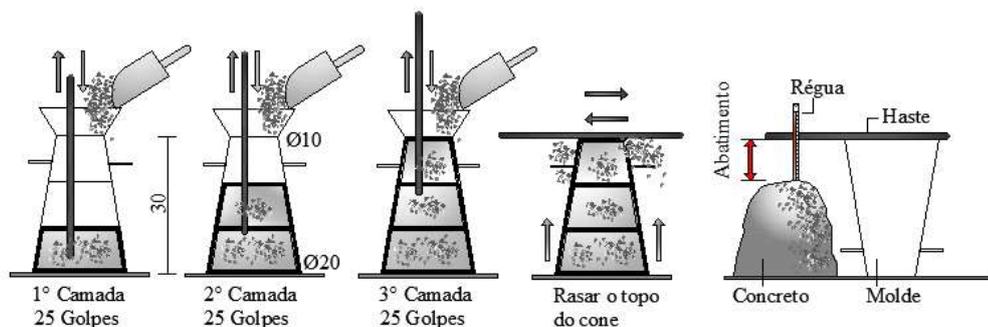


Figura 14: Ensaio de abatimento de tronco de cone

3.1.2 - Aglomerante

O aglomerante utilizado foi cimento Portland Pozolânico do tipo CP IV-32. A escolha deste cimento foi pelo fato de ser o tipo de cimento mais usado no mercado e inclusive no laboratório de práticas do IFSul, principalmente por ser do tipo que possui grande variedade de usos e tem o menor preço do mercado. Este cimento também é adequado ao propósito dessa pesquisa, pois sua composição química, segundo a norma ABNT NBR 16697/2018: Cimento Portland – Requisitos, deve apresentar adição de material pozolânico (geralmente cinza volante de origem de queima de carvão mineral em termelétricas), conforme Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetro do cimento Portland Pozolânico

Teores dos componentes de cimento Portland Pozolânico – CP IV-32				
Sigla	Classe de resistência (Mpa)	Componentes (% em massa)		
		Clínquer + Sulfato de cálcio (gesso)	Material pozolânico	Material carbonático
CP IV-32	32	85-45	15-50	0-5

Fonte: Adaptado de NBR 5736/1999.

Os parâmetros físicos e químicos do cimento foram informados pelo fabricante conforme é apresentado no quadro 5.

Quadro 5: Os parâmetros físicos e químicos do cimento CP IV – 32.

Parâmetros químicos									
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda ao fogo.	CaO Livre.	Resíduo Insolúvel.	Equivalente Alcalino
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
9.71	29.38	4.27	44.52	2.71	2.07	4.69	1.09	25.89	1.18

Parâmetros físicos										
Expansão Quente	Tempo de pega (min)		Consistência normal	Finura (Blaine)	Retido peneira		Resistência compressão axial (MPa)			
	Início	Fim			#200	#325	idade			
mm			%	cm ² /g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
0,5	255	315	31.1	4,270	0,3	1,18	14,2	2,4	33	46,1

3.1.3- Água de amassamento

Nos concretos produzidos foram usados dois tipos de água: a água tratada (da torneira de abastecimento público) e a água de reuso, proveniente dos efluentes líquidos captados das aulas práticas e posteriormente tratados conforme descrito a seguir.

Água tratada

Foi utilizada água tratada distribuída pelo Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas, RS, (SANEP) que é a água de abastecimento público no IFSul, consumida diariamente nas aulas práticas do curso de Edificações.

Foi usada na produção do concreto (controle), para moldar os corpos de prova para os ensaios de compressão simples, bem com os ensaios de durabilidade, baseados na carbonatação do concreto, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 15900-1:2009.

A água tratada (T) foi ensaiada em termos químicos e físicos, em parâmetros de pH, turbidez e DQO, servindo de referência para os ensaios com água de reuso, os quais foram analisados nos mesmos critérios e comparados os resultados.

Água de reuso

A água de reuso, proveniente do efluente líquido gerado na lavagem de ferramentas e equipamentos do laboratório didático, após sofrer processo de decantação, foi utilizada em substituição da água tratada na produção de concretos, nas porcentagens de 20, 50, 80 e 100%. Para os corpos de prova em concreto a água de amassamento foi mistura entre água tratada e água de reuso nas proporções conforme Tabela 5.

Tabela 5: Composições realizadas com mistura de água tratada e água de reuso

Composição da água de amassamento	Nomenclatura
Controle: 100% T	C
Composição 20: 20% R + 80% T	C20
Composição 50: 50% R + 50% T	C50
Composição 80: 80% R + 20% T	C80
Composição 100: 100% R	C100

R - água de reuso (efluente líquido tratado) T - água tratada

O concreto de controle (C) foi produzido com água 100% tratada, nos demais concretos a água tratada foi substituída por água de reuso, conforme Tabela 5.

3.2- Métodos

3.2.1 - Medição de volume de líquidos

Medição do consumo de água tratada

No tanque de lavagem do laboratório de aulas práticas foi instalado um hidrômetro na torneira de água tratada, a fim de medir o consumo de água tratada utilizada na lavagem de instrumentos, ferramentas e equipamentos. Em formulário específico foram registradas a numeração do hidrômetro, no início e no fim de cada aula, definindo assim o consumo de água tratada de cada aula prática desenvolvida.

O consumo de água tratada foi variado durante as aulas práticas e, conseqüentemente, a geração de efluente líquido variou de acordo com as quantidades e tipos de argamassas elaboradas, bem como os serviços executados por uma turma de 12 alunos. No total foram avaliadas 28 aulas práticas monitoradas, com duração de três períodos cada.

Para o cálculo final de volume anual de consumo de água tratada foi então feito a extrapolação para 01 ano letivo que é composto por 02 semestres letivos. Neste levantamento, então, foi considerado um total de 10 turmas em andamento por semestre, que realizam aulas de práticas da construção no laboratório didático e consomem água tratada, onde foi instalado o hidrômetro.

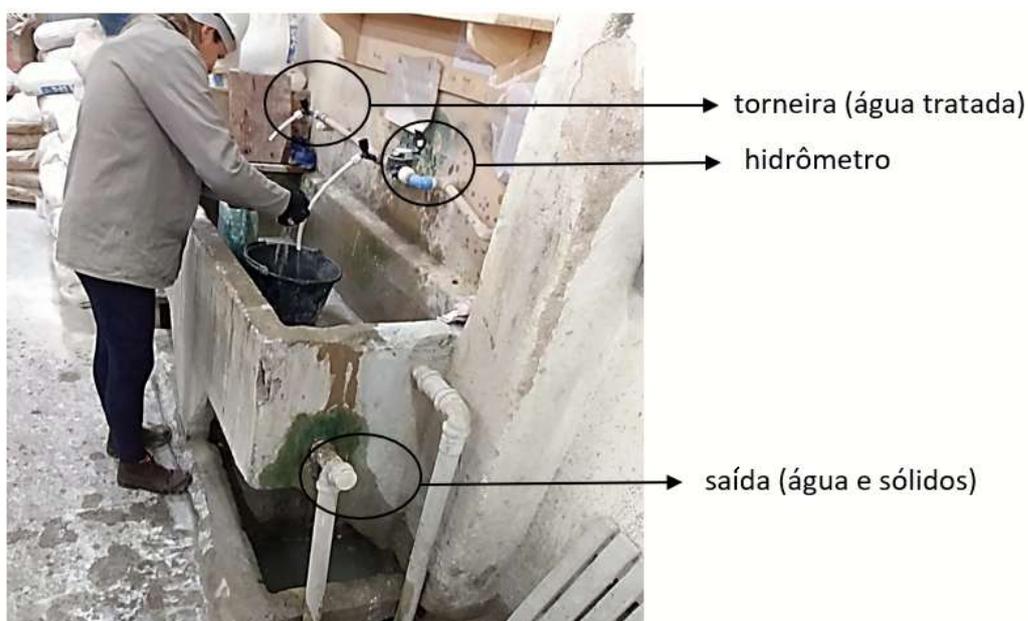


Figura 15: Tanque de lavagem.
Geração, coleta e medição de água usada nos processos de lavagem

Medição de volume de efluente líquido

A geração de efluente líquido foi variado, de acordo com as atividades desenvolvidas no laboratório didático, tipos de argamassas produzidas e a quantidade de alunos presentes em aula. Durante o monitoramento das 28 aulas ministradas, o volume de efluente líquido foi calculado sobre o consumo de água tratada, para tanto, foi considerado o volume de água tratada destinada ao processo de produção de concretos e argamassas conforme o traço (receita) de cada material utilizado e verificou-se que o volume usado para o amassamento ficou entre 10 e 15% do total de água consumida. Dessa forma, para estimar a quantidade de efluente líquido gerado e a consequente geração de água de reuso, foram subtraídos do volume total medido o volume de água tratada consumida (conforme determinado nos traços e efetivamente misturados). Assim foi definindo o montante diário do volume de líquidos gerados.

3.2.2 - Coleta, armazenamento e tratamento do efluente líquido

Coleta e armazenamento do efluente líquido

Para a coleta do efluente líquido foi conectado junto ao cano de saída do esgoto do tanque de lavagem do laboratório de práticas, um tubo que conduzia os resíduos para reservatórios fechados (caixas d'água). Os reservatórios usados foram caixas d'água de fibra com capacidade de 500 litros, ligadas ao tanque de lavagem, conforme figura 15 (a) e 15 (b).

Após o armazenamento o efluente líquido sofreu processo de decantação separando a fase líquida da fase sólida bem como do sobrenadante (escuma composta de material orgânico, óleos, produtos químicos, entre outros). A fase líquida foi o material aproveitado e denominado água de reuso.

Foram utilizados durante o experimento três reservatórios de fibra, com capacidade de 500 litros. Para a elaboração das análises foram coletados 2 litros, da amostra de água decantada, de modo a não revolver o fundo do reservatório.

Outra amostra coletada foi a água tratada, também em volume de 2 litros, retirada da torneira que abastece o tanque de lavagem. As amostras foram acondicionadas em garrafas "Pet" de 500ml, previamente identificadas, mantidas hermeticamente fechadas e refrigeradas até serem conduzidas ao laboratório.

A amostragem e preparo para coleta de água tratada e do efluente líquido, seguiram a NBR 9.897 /1987– Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, segundo a NBR 9.898 – Preservação e técnica de amostragem de efluente líquido e corpos receptores.

Na Figura 16 (a) e (b) são apresentadas a geração e a captação do efluente líquido, bem como o processo de decantação e água de reuso.



Figura 16: Efluente líquido.

a): Geração e a captação do efluente líquido **b):** Decantação e água de reuso.

Na Figura 17, é apresentado o processo de geração de efluente líquido que, após decantação por 48 horas, passa a ser água de reuso.

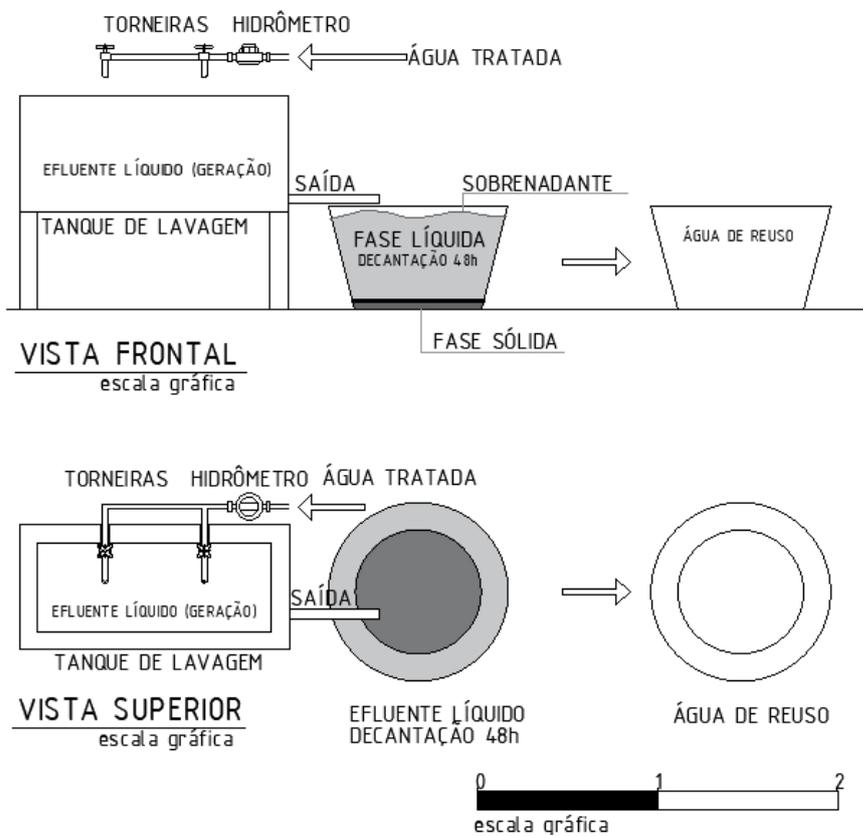


Figura 17: Processo de geração de efluente líquido, decantação e água de reuso.

3.2.2.1- Análises químicas de efluentes e água tratada

Preparo dos teores de água de amassamento para ensaios físico-químicos

Em laboratório, com auxílio de uma bureta e balança de precisão, foram preparados 500ml de cada amostra de água. A água de reuso e a água tratada, foram pesadas e misturadas em proporções, conforme Tabela 5. Cada amostra (misturas de água tratada e água de reuso) foi então submetida aos testes químicos e físicos e também serviram como água de amassamento dos concretos usados nas produção de corpos de prova.

Determinação do pH das amostras de água de amassamento

Para se medir o pH de cada amostra de água, utilizou-se o pHmetro (Metroterm MT 610), que foi previamente calibrado com solução tampão de pH (4,0; 7,0 e 10,0). Cada amostra de água para esta análise foi 30 ml, dispostas em copo de Becker previamente identificados e procedeu-se à leitura do pH em equipamento específico.

Determinação da Turbidez das amostras de água de amassamento

Para a determinação da turbidez (Unidade Nefelométrica de Turbidez) foi utilizado um turbidímetro marca (Policontrol AP 200). Inicialmente o aparelho foi calibrado em 4 padrões de turbidez (0,1 NTU, 20 NTU, 100 NTU e 800 NTU), e então procedeu-se a leitura com a amostra (branco), contendo 20 ml da amostra. Para a análise das demais amostras, foram usados 20 ml de cada amostra de água, dispostos em cubetas individuais e previamente identificadas. O aparelho foi manuseado e calibrado conforme orientação do fabricante.

Determinação da DQO das amostras de água de amassamento

Para determinação da DQO foi utilizado um kit (frascos de digestão ácida), DQO gama média (HANNA) e para a leitura das amostras, (Fotômetro de bancada), marca (HANNA-Hi 83214 *Multiparameter Bench Photometer*), operando no modo análise n°9 (DQO-GM).

Para a realização do ensaio, as amostras foram previamente identificadas em (BR, 1,2,3,4,5), primeira leitura e (BR, 6,7,8,9,10), segunda leitura, onde BR, representa o branco e, para cada número uma determinada amostra de água de amassamento.

Utilizando uma micropipeta, foram adicionados 2ml de água deionizada no tubo solução de Digestão ácida, da amostra branca.

Nos demais tubos, de Digestão ácida, numerados de 1 a 10, da mesma forma, foram adicionados 2 ml de cada amostra de água. Os tubos foram levados ao bloco digestor (Marca Solar Dry-Block SL-16/25), pré-aquecido a 150°C durante 2 horas. Após este período, guardar

o resfriamento das amostras em temperatura ambiente para proceder à leitura no fotômetro. Inicialmente proceder à calibragem do aparelho com a amostra (branco) e, posteriormente, proceder à leitura das demais amostras de água.

3.2.3 - Ensaio em concreto

Traço de controle (C) para moldagem de corpos de prova

Inicialmente foram desenvolvidos em laboratório vários ensaios preliminares para traço de concreto, onde se variou a granulometria da brita, o volume de areia e a relação água/cimento, a fim de chegar a um traço que atendesse requisitos de plasticidade e trabalhabilidade, baseado no ensaio de abatimento de tronco de cone, definido em 100 mm, conforme NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Para simplificar a leitura e entendimento dos resultados de ensaios em concreto adotou-se uma nomenclatura para os traços de concreto conforme Tabela 6.

O traço controle (C) foi determinado para que o concreto atendesse resistência mínima de 30 MPa aos 28 dias, pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

As quantidades dos materiais, utilizados no traço (C) bem como nos demais traços ensaiados, permaneceram constante, somente a água de amassamento teve variação em sua mistura, (água tratada + água de reuso). Na Tabela 6 e Tabela 7 são apresentadas as quantidades (em massa e percentuais, respectivamente), dos materiais que compõem os traços dos concretos produzidos.

Tabela 6: Quantidades dos materiais para compor o traço em massa

Materiais componentes do concreto						
Traços	Cimento Kg	Areia Kg	Brita 1 Kg	Brita 2 Kg	R Kg	T Kg
C	15,0	23,1	11,6	11,6	0,0	6,2
C20	15,0	23,1	11,6	11,6	1,2	4,9
C50	15,0	23,1	11,6	11,6	3,1	3,1
C80	15,0	23,1	11,6	11,6	4,9	1,2
C100	15,0	23,1	11,6	11,6	6,2	0,0

R - água de reuso (efluente líquido tratado) T - água tratada

Tabela 7: Quantidades dos materiais para compor o traço, em percentagens

Materiais componentes do concreto						
	Cimento	Areia	Brita 1	Brita 2	R	T
Traços	%	%	%	%	%	%
C	100	100	50	50	0	100
C20	100	100	50	50	20	80
C50	100	100	50	50	50	50
C80	100	100	50	50	80	20
C100	100	100	50	50	100	0

R - água de reuso (efluente líquido ratado) T - água tratada

Para a produção das amostras (corpos de prova) de concreto, os materiais foram submetidos a uma determinada ordem de colocação destes na betoneira, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Ordem de colocação dos materiais na betoneira

Sequência	Quantidades %	Materiais
1	60	Água
2	100	Brita nº1
3	100	Brita nº2
4	100	Cimento
5	100	Areia média
6	40	Água

Ensaio de plasticidade – Abatimento de tronco de cone

Foram realizados vários ensaios preliminares para determinar as melhores proporções de agregados e consumo de água, buscou-se manter o fator água/cimento (a/c) das amostras de concreto para que se pudesse garantir a resistência mínima estipulada (30 MPa). Ao determinar a melhor proporção entre agregados e o consumo de água se atingiu o abatimento desejado de 100 mm e então esta mistura foi determinada como sendo o traço de controle (C).

Posteriormente foram realizados ensaios para outros concretos com variações de água de reuso em porcentagens de 20, 50, 80 e 100%, porém manteve-se fixos os demais componentes do traço, ou seja, consumo de água, quantidade de cimento, quantidade e proporção dos agregados. Dessa forma, pode-se afirmar que as variações de resultados, se acontecerem, serão em função da água de amassamento utilizada. Os ensaios seguiram a NBR NM 67/1998. Concreto – (Determinação da consistência do tronco de cone).

3.2.4 - Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos, análises e durabilidade

As amostras de concreto (corpos de prova) foram produzidas com materiais caracterizados e devidamente preparados, conforme NBR 5738/2015, procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e para tais análises foram usados corpos de prova endurecidos em diferentes idades.

Preparação de corpos de prova cilíndricos para ensaios de resistência à compressão axial simples

Os corpos de prova ensaiados foram produzidos no laboratório do curso de Edificações do IFSul, Câmpus Pelotas, onde foram produzidas um total de 45 unidades com dimensões de 10 x 20 cm, (diâmetro x altura), sendo 09 exemplares para cada amostra de concreto ensaiado.

Os equipamentos, como: máquinas, ferramentas, balanças, materiais e equipamentos de precisão, moldes metálicos, kit para ensaio de abatimento, entre outros, foram previamente preparados.

Após a mistura mecânica do concreto e antes de ser moldado, foram verificadas a consistência e a trabalhabilidade, através da NBR NM 67/1998 - Ensaio de abatimento do tronco de cone. Posteriormente o concreto foi moldado, conforme NBR 5738/2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, conforme a Figura 18(a). As amostras foram identificadas para o tipo de água de amassamento e data do procedimento. Após um período de 24 horas, as amostras foram desmoldadas, identificadas e permaneceram em cura submersa em água até a data de rompimento, em todas as idades. Os corpos de prova foram moldados em formas metálicas padronizadas e identificados, conforme Figura 18(b).

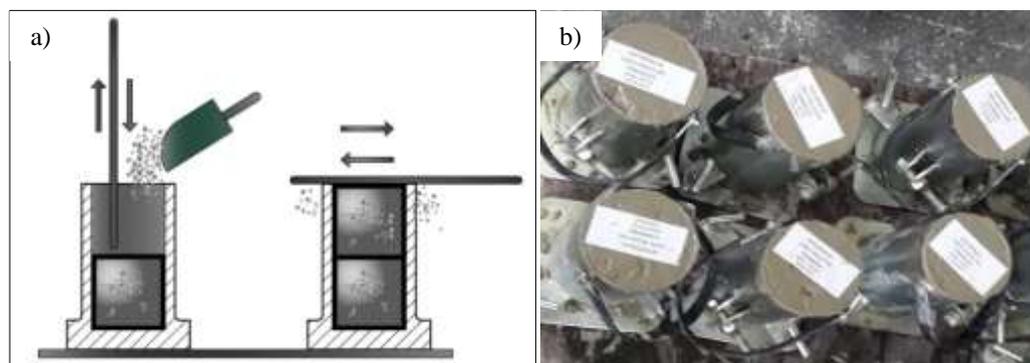


Figura 18: Preparação de corpos de prova.

- a) Moldagem dos corpos de prova em duas camadas, (doze golpes por camada)
- b) Corpos de prova em formas metálicas padronizadas e identificadas

Preparação dos corpos de prova cilíndricos para ensaios de carbonatação natural

Para a realização do ensaio de durabilidade do concreto, foi produzido um total de quinze (15) corpos de prova com dimensões de 5x10 cm, (diâmetro x altura), conforme Figura 19, elaborados em moldes metálicos. Para cada traço de concreto foram moldados três (3) corpos de prova. Após o período de 24 horas, as amostras foram desmoldadas, identificadas e permaneceram em cura submersa (em tanque de água) por um período de 28 dias.



Figura 19: Corpos de prova (5x10 cm), para estudo de carbonatação natural

Em prosseguimento, as amostras foram retiradas, identificadas novamente e permaneceram ao ar livre por um período de 24 horas, para escorrer o excesso de água. Após este período permaneceram em estufa a 50°C por um período de 2 horas, quando em temperatura ambiente, as amostras foram identificadas e embaladas em plástico filme até serem expostas para a carbonatação.

Preparação das amostras para ensaio de pH em concreto endurecido

Para determinar o pH do concreto endurecido aos 28 e 91 dias, foram coletadas amostras de concreto (fragmentos de diâmetro aproximadamente 5,0 cm), logo após a realização do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova, visto que no final do ensaio os corpos de prova são rompidos diante o carregamento na prensa. De cada amostra, 400 g foram coletadas e levadas à estufa a 50°C por 30 minutos, em seguida trituradas manualmente com o auxílio de marreta e, posteriormente, reduzidas (granulometria de areia) com auxílio de almofariz.

Na sequência, o material foi submetido ao peneiramento em peneira metálica de malha 2,0 mm, agitadas manualmente durante 60s, sendo coletados 100 g do material passante que foram armazenados em embalagens hermeticamente fechadas e identificadas para então servirem de material para a análise do pH do concreto endurecido, conforme Figura 20.



Figura 20: Preparo das amostras de concreto endurecido para análise de pH

Para a determinação do pH das amostras de concreto após carbonatação natural de 200 dias, os corpos de prova foram fatiados em cinco camadas. As camadas topo e base dos corpos de prova estudados foram utilizadas para a determinação do ensaio, conforme a Figura 21. As amostras de concreto pós carbonatação foram submetidas aos mesmos procedimentos de preparo dos concretos analisados aos 28 e 91 dias.

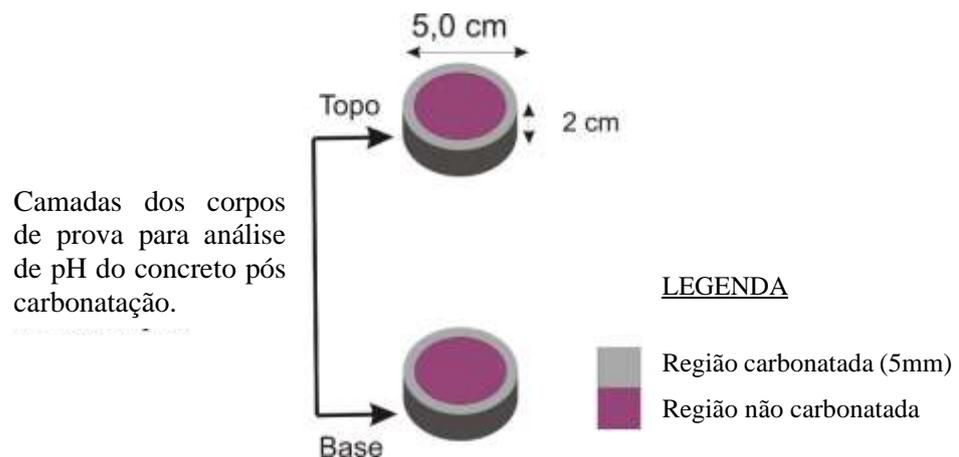


Figura 21: Camadas dos corpos de prova utilizadas para análise de pH

3.2.5 - Ensaios mecânicos, químicos e durabilidade em corpos de prova de concreto endurecido

Ensaio da resistência à compressão axial simples

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos 10x20 cm de cada traço de concreto para ensaio de compressão axial simples nas idades de 14, 28 e 91 dias.

Entre as etapas preliminares para a realização do ensaio, os diâmetros de cada corpo de prova foram medidos na base, meio e topo, para poder determinar a área média do corpo de prova e posteriormente servir de dado para o cálculo da resistência mecânica após se determinar a carga de ruptura no final do ensaio.

O ensaio foi realizado conforme norma NBR 5739/2018 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, realizado no laboratório de materiais de construção do curso de Edificações do IFSul, Pelotas, RS, na máquina de ensaios universal (EMIC, linha DL, para 2000KN), conforme é apresentado na Figura 22.



Figura 22: Ensaio de compressão axial dos concretos produzidos

Na Tabela 9 são apresentadas as amostras ensaiadas, bem como o número de ensaios realizados para as idades de 14, 28, e 91 dias.

Tabela 9: Número de Ensaios realizados para idades e teores de água de reuso

Quantidade de corpos de prova para ensaios: concreto endurecido						
Traço		C	C20	C50	C80	C100
Idade	14 dias	3	3	3	3	3
	28 dias	3	3	3	3	3
	91 dias	3	3	3	3	3
	total	9	9	9	9	9

Ensaio de carbonatação natural

Para a realização do ensaio a carbonatação, as amostras produzidas com diferentes percentuais de água de reuso, bem como o material de referência, foram expostos a intempérie, a céu aberto, sem qualquer tipo de proteção, por um período de 200 dias. As amostras permaneceram expostas ao ambiente natural, nos meses de novembro de 2019 a junho de 2020, período de verão e outono.

Durante este período foram realizados procedimentos sistemáticos para as amostras: Para cada seis dias de exposição ao ar, as amostras foram submersas em água tratada, por um período de 24 horas, voltando novamente a serem expostas à intempérie.

Assim sistematicamente durante o período estudado. Os corpos de prova do experimento passaram 15% do período submersos em água e 85% expostos a intempéries.

Esse procedimento foi realizado para favorecer a entrada de CO_2 , no interior das amostras e então favorecer as reações de carbonatação. Se os poros estiverem secos, o CO_2 penetra no concreto, mas a carbonatação não ocorre, pois falta água. Se os poros estiverem saturados, a carbonatação fica comprometida pela baixa velocidade de difusão do CO_2 na água, que é cerca de 10^4 vezes menor do que através do ar (NEVILLE, 2000). Devido a isso, os corpos de prova foram submetidos a um experimento misto, parte do período estudado, 15%, as amostras permaneceram submersas em água, enquanto 85% do período restante, expostas ao relento. Esta técnica é uma alternativa aos ensaios de carbonatação acelerados realizados em câmaras de carbonatação, que foi testado por vários pesquisadores, como Ferreira (2013), que estudou carbonatação natural em concretos com adições minerais, por meio de indicador de pH à base de fenolftaleína, criando um banco de dados com tempo de exposição de (91,182 e 301 dias) e períodos como (3, 7, 9 e 10 anos).

Após o período de carbonatação natural de 200 dias, as amostras foram preparadas e levadas para o ensaio de determinação da frente de carbonatação através de titulares para determinar exatamente as áreas mais carbonatadas. Padronizou-se, então, um sentido pré-determinado de corte dos corpos de prova, orientados por linhas guia, conforme é apresentado na Figura 23.



Figura 23: Sentido de corte dos corpos de prova em cinco camadas

Para tanto, foi desenvolvido e construído um aparato que possibilitou o corte dos corpos de prova em camadas circulares de 2 cm, proporcionando maior segurança na execução do corte, precisão e acabamento das peças.

Na Figura 24 é mostrado o equipamento desenvolvido para cortar os corpos de prova, já na Figura 25, é apresentado o corte das camadas de concreto para exposição de fenolfetaleína.



Figura 24: Equipamento desenvolvido para cortar corpos de prova



Figura 25: Corte em cinco camadas para exposição de fenolfetaleína

Após o corte e tratamento (retirada de pó), das três camadas do centro das amostras, estas foram imediatamente submetidas à aspersão de solução de Fenolfetaleína (70% de álcool etílico, 29% de água destilada e 1% de fenolfetaleína) sobre cada superfície das amostras. Após a reação química com o concreto, as amostras previamente identificadas foram fotografadas e ampliadas com auxílio de programa de computador, sob gradil com células de (2 x 2) mm, a fim de se analisar a profundidade de carbonatação. A solução de Fenolfetaleína tem a função de indicador de pH, onde se mantém incolor em soluções ácidas e torna-se rosa ou roxo em soluções básicas, ou seja, a parte carbonatada do concreto ficará incolor e a parte não carbonatada com tom cor-de-rosa ou roxo, conforme é exemplificado na Figura 26.



Figura 26: Exemplo de amostras de concreto expostas à fenolfetaleína após carbonatação

Neste estudo se optou pela Fenoftaleína que é capaz de detectar pH inferiores, além disso, o uso da Fenolfetaleína é de baixo custo e apresenta facilidade e rapidez no ensaio, bem como de precisão relativamente boa, conforme Silva (2007), que usou a técnica de fotografar as amostras e determinar em computador a profundidade exata da parte carbonatada, diferentemente do caso da determinação por uso de paquímetro. Na Figura 27, é apresentado o método utilizado para demonstrar com maior exatidão a frente de carbonatação mais significativa.

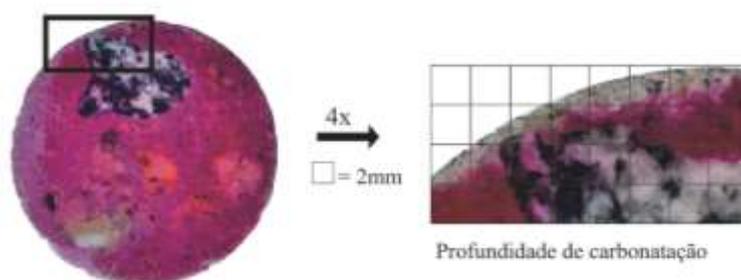


Figura 27: Exemplo do método utilizado para detectar profundidade de carbonatação

3.2.5.3 - Ensaio de pH em concreto endurecido

Para a determinação do pH do concreto endurecido aos 28 dias, 91 dias e para as amostras expostas à carbonatação natural durante 200 dias, foi utilizado o método adaptado do EMBRAPA (1979).

Inicialmente, em laboratório, foi realizada a calibragem do medidor de pH – Phmetro (pH/mV/Cond./TDS/Temp.meter 86505), aferindo o potenciômetro com as soluções padrões de pH: 4,00 e 7,00 e 10,00, respectivamente.

As amostras de concreto preparadas anteriormente, contendo 100 g de cada amostra, foram homogeneizadas e dessas retirou-se 10 g de cada, para análise, conforme Figura 28(a).

As amostras foram dispostas em copo de Becker de 100 ml previamente identificados, pesados em balança de precisão (marca Shimadzu AUY 220), a seguir, foram adicionados 25 ml de água destilada em cada copo de Becker contendo as diferentes amostras de concreto, neste momento a mistura foi agitada com um bastão de vidro individual para cada amostra, durante 60 segundos e permanecendo em repouso por uma hora, conforme Figura 28(b).

Passado o tempo de repouso, as amostras foram agitadas novamente durante 60 segundos com um bastão de vidro individual e foi mergulhado o eletrodo em cada amostra homogeneizada e, conseqüentemente, efetuada a leitura do pH.

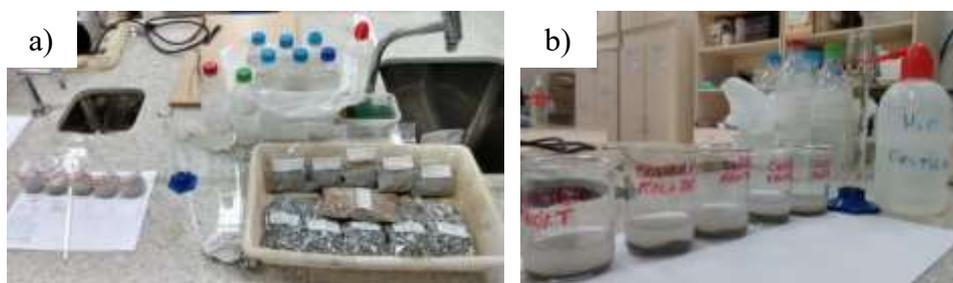


Figura 28: Experimento para a determinação do pH dos concretos endurecidos
(a): Amostras para ensaios de pH / (b): Amostras em repouso

3.2.6 - Desenvolvimento de projeto de coleta, tratamento e reuso de efluente líquido de laboratório didático

Para o desenvolvimento do projeto de reaproveitamento de água de processos do laboratório didático do curso de Edificações do IFSul, Câmpus Pelotas, foram executadas as medições do espaço existente, tanto da área interna, como da área externa, contendo levantamento planimétrico e altimétrico dos espaços. Anotados também a localização dos pontos de energia elétrica, pontos de água de abastecimento público e rede de esgoto existente no local. Outros aspectos foram observados no laboratório de práticas construtivas, com a finalidade de compatibilização da circulação com os espaços destinados à execução dos procedimentos construtivos, circulação de alunos, professores, materiais e ferramentas, bem como os espaços adjacentes.

O Projeto de captação, armazenamento e tratamento de efluente líquido, transformando em água de reuso, a ser implantado no laboratório didático do curso de Edificações, foi desenvolvido com auxílio do software AutoCAD 2018, para desenhos em 2D, e software SketchUp para modelos em 3D. Os desenhos elaborados foram transformados em imagens e inseridos no texto.

O projeto de coleta, tratamento e reuso de efluente líquido tratado, tem a finalidade de minimizar o consumo de água tratada em aulas práticas e evitar o lançamento desses efluentes (pH 12) em rede pública.

Na Figura 29 é apresentado o ciclo de geração do efluente líquido e água de reuso no laboratório didático do curso de Edificações.



Figura 29: Ciclo de geração do efluente líquido e água de reuso

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Medição do volume de líquidos

4.1.1 - Medição do consumo de água tratada

Conforme Figura 30 verificou-se um volume variável para consumo de água tratada e consequentemente também efluente líquido. Isto se deu pela diversidade de aulas práticas que desenvolvem atividades distintas e, então, para cada aula produz-se quantidades variadas de concretos, argamassa e outros materiais à base de cimento.

Na Figura 30 é apresentado o gráfico de volumes de água consumida durante as aulas práticas.

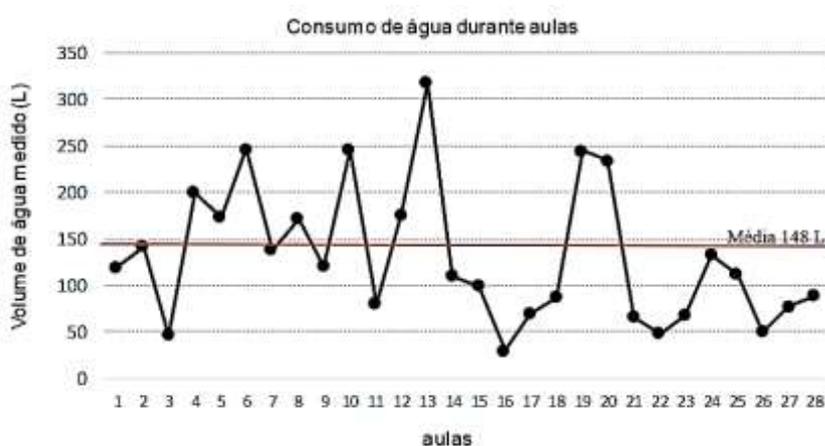


Figura 30: Volume de água consumida durante as aulas

É possível, desse forma, estimar que em um semestre letivo pode-se chegar a um consumo em torno de 4000 litros de água limpa (tratada), por turma, tanto para a produção de concretos e argamassas como nas atividades de limpeza de instrumentos e equipamentos usados nessas aulas.

Considerando que na Instituição analisada existem pelo menos 10 turmas em andamento que cursam o componente curricular de prática das construções, pode-se calcular um consumo de água tratada em torno de 80.000 litros por ano, sem considerar os demais componentes curriculares como materiais de construção, mecânica dos solos e ainda projetos de pesquisa em andamento que se dedicam à produção de materiais à base de cimento. O volume anual estimado foi determinado segundo a fórmula ($Ve = M \times A \times 2S \times 10T$), onde:

Ve = Volume estimado, M = Média diária (148 L), A = Número de aulas práticas no semestre (28 aulas), S = Semestres letivos (2 semestres), e T = Número de turmas simultaneas que cursam as disciplinas de práticas construtiva.

Esta foi a primeira oportunidade que o curso de Edificações teve acesso aos volumes de água consumida e ainda da quantidade de efluente líquido produzido.

Diante dos números fica evidente a necessidade de se pensar em um sistema de reciclagem de água nessa Instituição bem como em outras instituições de ensino que possuem cursos na área da construção civil e promovem pesquisas e componentes curriculares com atividades práticas que produzem materiais à base de cimentos ou outros aglomerantes minerais como cal e gesso.

A reciclagem também deve ser aplicada no setor produtivo como empresas do ramo da construção civil que são os maiores consumidores de cimento e utilizam materiais cimentícios em praticamente 100% de suas obras.

A Resolução nº 448 de 19 de janeiro de 2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA estabelece que os resíduos da construção civil não possam ser descartados em aterros de resíduos urbanos sólidos, em áreas de resíduos, em encostas, em corpos de água, em terrenos vazios ou em outras áreas protegidas por lei.

Dessa maneira, as escolas técnicas, institutos e universidades com cursos na área da construção civil já deveriam estar adaptadas a essas condições. Pelo que se observa, oito anos após a publicação, o cumprimento de tal resolução ainda está longe de ser uma realidade, seja nas empresas do setor da construção e especialmente nas escolas de curso da área da construção civil, as quais ainda geram resíduos exatamente iguais aos gerados nas construtoras.

Paula e Ilha (2014) observaram a necessidade urgente de se tratar o tema da reciclagem de resíduos da construção civil como uma forma de preservar o ambiente e contribuir com a sustentabilidade da construção civil.

O reaproveitamento de um subproduto industrial, que muitas vezes serve apenas como mais um poluente industrial, também é um aspecto de grande importância, principalmente nos dias de hoje, em que a busca por um desenvolvimento industrial sustentável é o grande objetivo e desafio da ciência, (DUART, 2008).

Ghrais et al. (2018) afirmam que “globalmente, a indústria de concreto consome um bilhão de toneladas de água de mistura anualmente. Além do que enormes quantidades de água fresca estão sendo usadas para lavar betoneiras, bombas de concreto, agregados, cura de concreto entre outras atividades”.

O volume de água consumida é o resultado da soma da água utilizada na produção da construção úmida e também nas etapas de limpeza dos equipamentos e demais acessórios.

Considerando as quantidades utilizadas nas misturas de concretos e argamassas verificou-se que a quantidade de água necessária para a produção dos materiais varia de 10% a 15% do total de volume de água tratada consumida, dessa forma, o efluente líquido pode ser considerado como 85% do total de volume de água tratada consumida.

Isso se dá porque o volume utilizado nas misturas deve ser exato e controlado para garantir a trabalhabilidade e resistência, mas no processo de limpeza o consumo de água é maior, pois não existem procedimentos de racionalização da água e faz-se as atividades de limpeza com torneira ligada o tempo todo, mesmo para remover grandes quantidades de sólidos que poderiam ser removidos manualmente e separados para reciclagem e só então realizar a limpeza com água.

Esses números evidenciam o volume de efluente líquido gerado fora dos processos construtivos, em atividades paralelas, onde o uso da água tratada pode ser substituída por água reciclada ou água de reuso, minimizando assim o consumo de água potável, reduzindo a geração e lançamento de efluente na rede pública, gerando economia financeira e preservando o meio ambiente.

Naik (2009) observou que recursos hídricos estão sendo esgotados por vários usos. Este autor sugere, então, que a água potável deve ser conservada para atender às necessidades de sustentação da vida, em vez de necessidades de infraestrutura que deve ser atendida por métodos de reciclagem como reutilizar a água local para ciclos repetidos da mesma tarefa ou ainda tratar e reutilizar a água no local para várias finalidades, evitando sempre que possível o uso da água potável.

Nesta pesquisa foi de grande importância a determinação do volume de água consumida na Instituição em questão e a estimativa (80.000 litros/ano) é uma informação importante e pode ser considerado um alerta para a administração do câmpus.

Kucche et al. (2015) sugerem que se use sempre que possível água de reaproveitamento e outras fontes de água como alternativa da água tratada especialmente a água potável.

4.1.2 -Medição do volume de efluente líquido

Os resultados dos valores extrapolados para a média anual são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Volume de água tratada e efluente líquido

Volumes de água tratada consumida e efluente líquido gerado							
Água Tratada (L)				Efluente Líquido (L)			
Média por turma		Média - 10 turmas		Média por turma		Média - 10 turmas	
Semestral 4.000		Semestral 40.000		Semestral 3.400		Semestral 34.000	
Anual	8.000	Anual	80.000	Anual	6.800	Anual	68.000

Volume do efluente líquido= (85% do volume de água tratada consumida)

Na análise da Tabela 10, verifica-se o montante de água tratada consumida, e consequentemente, de efluente líquido gerado e, nesse sentido, justifica-se adotar ações de reuso de água de processos, para minimizar consumo de água tratada e reduzir a dispensa de efluente líquido em rede pública ou até mesmo em locais passíveis de atingir leito de rios ou lagos.

De acordo com Vasconcelos et al. (2015) que avaliaram o consumo de água no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) e chegaram à conclusão dos valores de consumo *per capita* de 8,025 L/hab/dia (média de dois anos), esses resultados corroboram com os valores obtido nesta pesquisa, então, pode-se concluir que o montante de água tratada economizado, conforme Tabela 10, corresponde à demanda por um dia de mais de 8.000 alunos, ou ainda, volume de água para a produção de mais de 165 m³ de concreto. Quantidade de concreto suficiente para execução de 1.650 m² de lajes, com espessura de 10 cm.

4.2 -Resultado das análises químicas do efluente e água tratada

4.2.1 - pH das amostras de água de amassamento

Pode-se observar pelos resultados o aumento do pH da água de amassamento de acordo com o maior percentual de água de reuso utilizado. Considerando-se que a escala de pH é exponencial em relação à concentração de íons H⁺ em solução, os pHs dos concretos C a C100 são condizentes, visto que o primeiro usa 100% de água tratada (pH 7,06) e o segundo usa 100% de efluente líquido (pH 11,76). Se verifica então, que pequenos teores de água de reuso adicionada (C20), já ocasionam essa saturação, e desta forma o aumento progressivo de adição e até o efluente puro, apresentam o pH acima de 11,02.

Adicionalmente, pode-se verificar que o acréscimo crescente de água de reuso, não varia tanto o pH entre os concretos C20, 50, 80 e 100, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Resultados dos ensaios de pH em águas de amassamento

pH - águas de amassamento para ensaio de concreto			
Amostra	Volume (ml)	Temperatura (°C)	pH
C	500	17,0	7,06
C20	500	17,0	11,02
C50	500	17,0	11,45
C80	500	17,0	11,69
C100	500	17,0	11,76

Essa é uma condição favorável e indica que, com relação ao parâmetro de pH, a indicação seria usar a maior quantidade de água de reuso possível, visto que conforme as normas brasileiras, em especial a norma ABNT NBR 15900-1:2009, não existe mais a indicação do valor pH para água de amassamento. A água recuperada dos processos de preparo do concreto ou a água combinada podem ser utilizadas como água para amassamento de concreto estrutural, desde que obedeçam exigências:

- a) a massa adicional de material sólido no concreto resultante da utilização de água recuperada de processos de preparo do concreto deve ser menor do que 1% (massa/massa) da massa total de agregados presentes no concreto;
- b) a possível influência da utilização dessa água deve ser levada em conta se houver qualquer exigência especial para determinado tipo de concreto a ser preparado;
- c) a quantidade de água recuperada deve ser distribuída o mais uniformemente possível na preparação do concreto.

Portanto, considera-se que o aproveitamento da água dos laboratórios didáticos, objeto deste estudo pode ser usada em processo de reciclagem e ciclo fechado para produção de outros materiais à base de cimento Portland.

Malaguti (2016) obteve resultados de água de lavagem de caminhões de concreto com pH13,66, este valor está acima do obtido neste trabalho, mas pode-se explicar a diferença visto que no processo de lavagem dos caminhões betoneira a água é recolhida após cada limpeza e, portanto, é água mais concentrada de sólidos. E ainda o pesquisador não realizou processo de decantação ou filtração que pudesse reduzir a quantidade de resíduos.

A metodologia aplicada nesta pesquisa foi a de acumular a água durante várias aulas em um reservatório e, dessa forma, a quantidade de água tratada é maior e acabou diluindo a quantidade de sólidos. Isso resultou um pH mais baixo, na ordem de 11,00, na água de reuso, assim como foram os resultados apresentados por Ekolu e Dawneerangen (2010) que obtiveram água de reuso de usinas de concreto como pH 11,12. Estes autores relataram ainda, valores

relativamente altos em quantidades de sólidos totais dissolvidos: carbonatos e hidróxidos de cálcio, em comparação com a água municipal, cujo pH foi determinado como 7,9.

Porém, Paula e Ilha (2014) ao pesquisarem as estações de reciclagem de água em usinas de concreto determinaram que nos tanques de decantação a água apresentava um valor médio de pH 12,5, assim como Chatveera, Lertwattanakul, e Makul (2006) que obtiveram pH 12,0 para água da mesma origem (decantadores de usinas de concreto), valor este mais próximo ao determinado nesta pesquisa para a água composta de 100% de reuso (C100) conforme apresentado na Tabela 11.

4.2.2 - Turbidez das amostras de água de amassamento:

Na Tabela 12 são apresentados os ensaios de Turbidez, das amostras de água misturadas, bem como a água de controle, (água tratada).

Tabela 12: Resultados dos ensaios de turbidez em águas de amassamento

Turbidez - água de amassamento para ensaio de concreto			
Amostra	Volume (ml)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
C	500	17	1,50
C20	500	17	1,84
C50	500	17	9,01
C80	500	17	14,70
C100	500	17	20,90

Pode ser observado na Tabela 12, que a água de amassamento usada a partir da água obtida do sistema público de saneamento (C) apresentou turbidez 1,50 NTU). Quando se adiciona água de reuso, verifica-se também o acréscimo da turbidez. Este aumento é atribuído ao incremento de partículas suspensas na água de amassamento à medida que a água de reuso é incorporada, uma vez que esta não foi submetida à processos de filtração (20,90 NTU).

Deve-se considerar que o processo de decantação preliminar foi bem sucedido e mesmo no efluente puro, o teor de turbidez não está elevado, inclusive atende parâmetros para lançamento.

4.2.3 - DQO das amostras de água de amassamento

.Os resultados apresentados na Tabela 13 demonstram aumento de DQO na água de amassamento à medida que água de reuso é incorporada à água de amassamento. A água de reuso apresentou DQO de 61,0 mg/l O₂, atribuída à presença de íons inorgânicos oxidáveis, principalmente (KYLEFORS et al., 2003). Assim, com o incremento de água de reuso na água de amassamento e conseqüente aumento da concentração de compostos inorgânicos oxidáveis, é esperado um incremento na DQO.

Tabela 13: Resultados dos ensaios de DQO, em águas de amassamento

DQO - águas de amassamento para ensaio de concreto			
Amostra	Volume (ml)	Temperatura (°C)	DQO (mg/l O ₂) *
C	500	17	0,0
C20	500	17	9,0
C50	500	17	21,0
C80	500	17	40,0
C100	500	17	61,0

* Q até 100m³ d=300

Neste estudo, por não se tratar de reuso de água para fins de potabilidade ou atividades que possam comprometer a saúde de pessoas, a DQO foi realizada apenas para ter um parâmetro de comparação com a água tratada e para conhecimento das condições da água de reuso.

Contudo, os valores também indicam que, mesmo após o processo de decantação, não se recomendaria que esta água fosse dispensada no ambiente, pois não atende aos parâmetros definidos pelo CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017, os quais ratificam a necessidade do aproveitamento dessa nas próprias atividades do laboratório em ciclo fechado.

4.3-Resultados para ensaios de resistência, durabilidade e resultados químicos em concreto endurecido

4.3.1 - Resistência à compressão axial simples

Conforme a análise dos gráficos das figuras 31 e 32, nas idades de 14 e 28 dias verificou-se que a resistência de todos os concretos com água de reuso foi a mesma do concreto de controle, considerando a margem de erro 5%, inclusive, observa-se que o traço C20 apresentou 8% a mais de resistência que o traço controle.

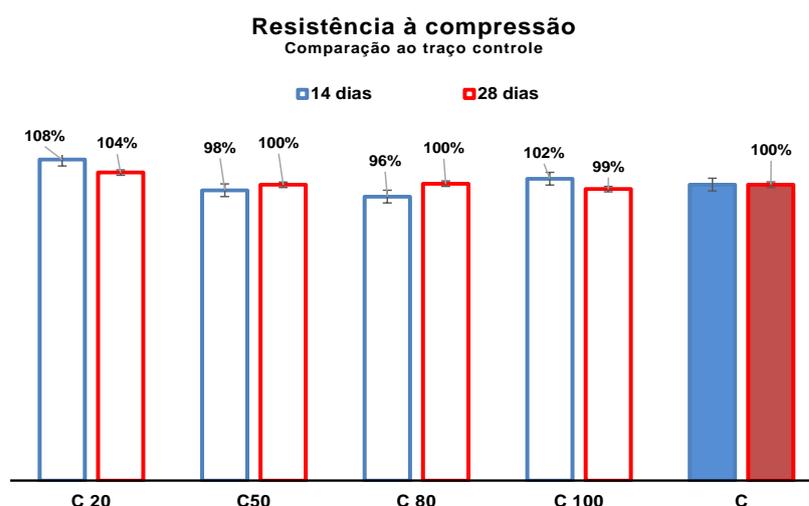


Figura 31: Gráfico comparativo-resistência à compressão axial simples, %, 14 e 28 dias

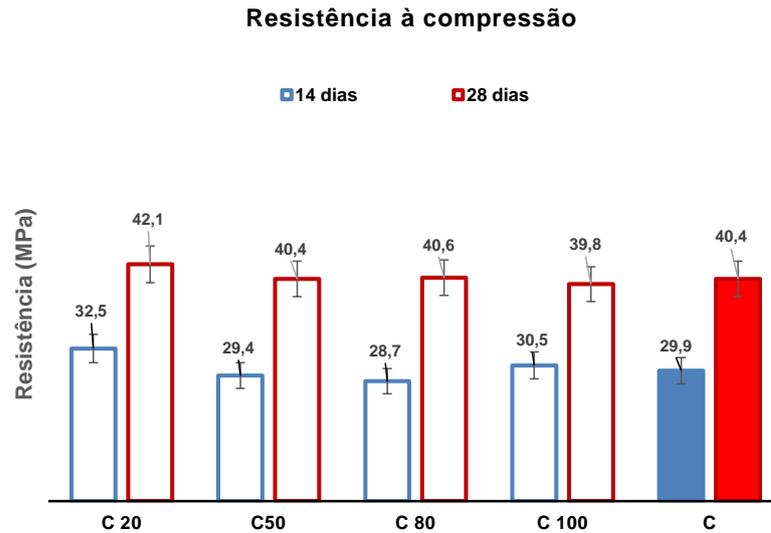


Figura 32: Gráfico comparativo resistência à compressão axial simples, 14 e 28 dias (Mpa)

Ao analisar o gráfico da Figura 33 verifica-se que houve crescimento de resistência dos 14 para os 28 dias em todos os traços e este crescimento teve valores entre 30 e 41%, considerando-se o menor e o maior crescimento, constata-se que os valores foram próximos ao traço controle.

Dessa análise resta concluir que a utilização da água de reuso não prejudicou o crescimento da resistência o que poderia ter acontecido caso houvesse componentes presentes nessa água que afetassem as reações de hidratação do cimento.

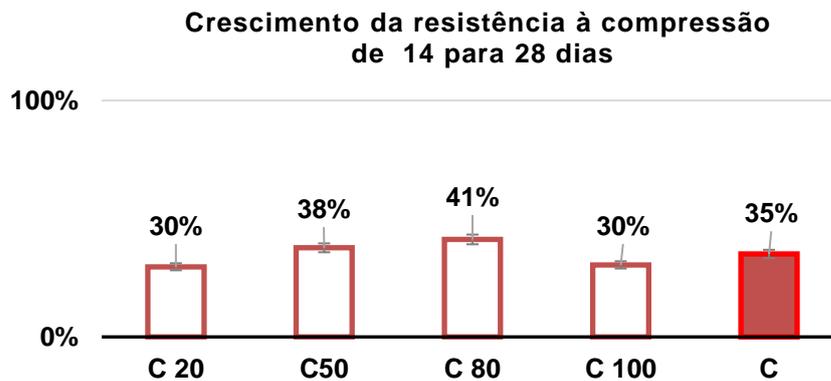


Figura 33: Gráfico comparativo crescimento da resistência à compressão, 14 e 28 dias (%)

Essa conclusão foi a mesma de Malaguti, Mymrin e Matoski (2017) que pesquisaram a água de reuso de lavagem de caminhões betoneira e concluíram que a água de lavagem não afeta a resistência à compressão do concreto, aos 7 e 28 dias. Esses pesquisadores constataram ainda que tanto a água como os resíduos apresentam os mesmos vestígios de minerais encontrados no cimento Portland hidratado. Deve-se considerar que Malaguti, Mymrin e

Matoski (2017) variaram o teor de água de reaproveitamento entre 50% e 100% e adicionalmente ainda usaram teores de sólidos de reaproveitamento em substituição ao cimento Portland.

Ekolu e Dawneerangen (2010) testaram concretos produzidos com teores de 30, 50 e 100% de água de reuso obtidas em usinas de concreto. Esses autores verificaram que aos 28 dias as resistências eram praticamente as mesmas daquela obtida para o concreto controle (100% água tratada), considerando-se a margem de erro, porém em valores absolutos, a resistência dos concretos produzidos com 50% (54,4 MPa) e 100% (53,8 MPa) superaram a resistência do concreto (C) (52,5 MPa). Em resumo, observações e resultados de testes indicam que a água reciclada pode ser usada como água de mistura para concreto sem ter efeitos adversos significativos em suas propriedades (EKOLU e DAWNEERANGEN, 2010).

Chatveera, Lertwattanakul, e Makul (2006) obtiveram resultado diverso e concluíram que ao aumentar (de 10 a 100%) a percentagem de água de reuso de usinas de concreto ocorreu aumento da retração do concreto e diminuição da resistência à compressão que variou entre 85 e 94% da resistência do concreto de controle (OPC) que usa 100% água tratada, mas deve-se considerar que neste caso a água utilizada também tem menor diluição e, portanto, é mais rica em resíduos sólidos o que pode ter contribuído para redução da resistência.

4.3.2 - Resistência à compressão axial simples comparação entre idades 14, 28 e 91 dias

Aos 91 dias os resultados apresentaram a resistência muito superior aos 28 dias, que é a idade padrão e isso é um fator positivo, pois expressa que a água de reuso não teve efeito negativo para as propriedades mecânicas na medida do avanço da idade e isto é primordial quando se analisa especialmente a durabilidade.

No gráfico da Figura 34, verifica-se que o crescimento da resistência para todos os traços manteve praticamente a proporção de crescimento especialmente da idade de 28 para 91 dias, como pode ser observado. Tal fato reforça a ideia de que se deve usar a maior quantidade possível de água de reuso, inclusive 100% quando for possível, visto que não há implicação no desempenho mecânico dos materiais produzidos de acordo com o gráfico da Figura 35.

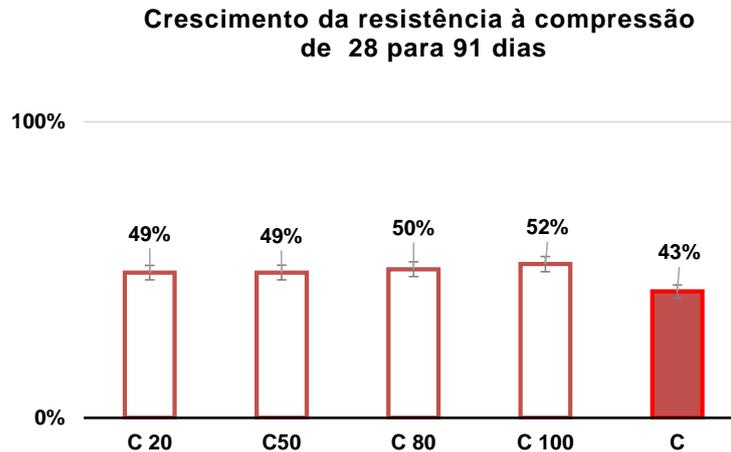


Figura 34: Gráfico de crescimento resistência à compressão, 28 e 91 dias (%)

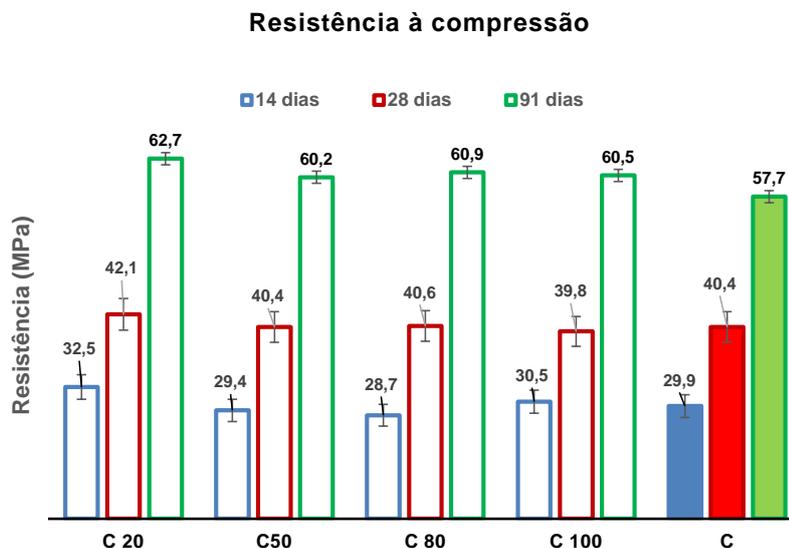


Figura 35: Gráfico comparativo resistência à compressão axial simples, 14, 28 e 91 dias (Mpa)

Na idade de 91 dias todos os traços de concretos com água de reuso apresentaram resistência à compressão acima da resistência do concreto de controle, observando-se a margem de erro de 5%, Figura 35. Esta análise fica mais clara ao observar o gráfico da Figura 36, que apresenta valores acima de 100% para todos os concretos com água de reuso quando comparado ao concreto com água tratada, ou seja, o traço de controle (C).

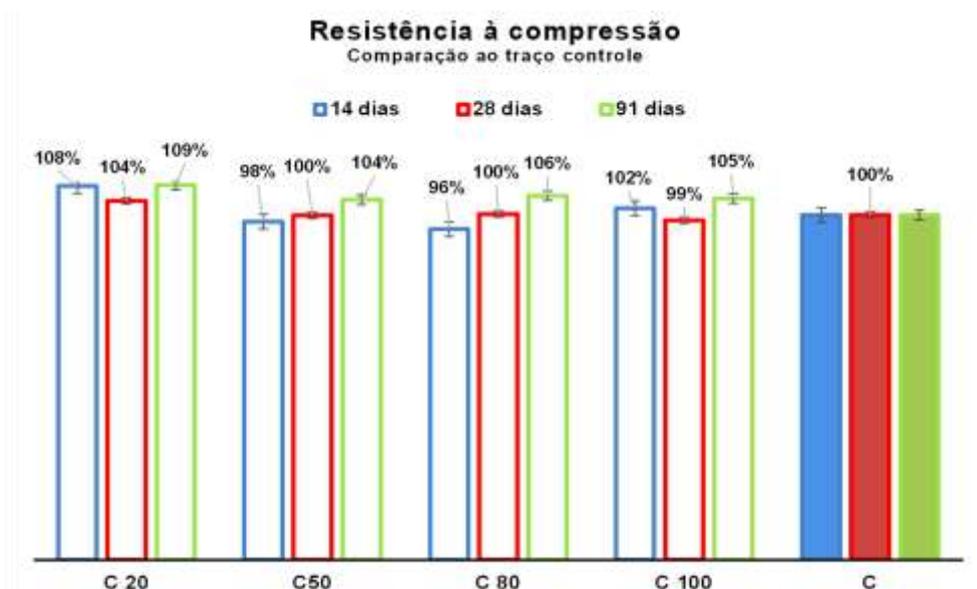


Figura 36: Gráfico comparativo crescimento da resistência à compressão, 14, 28 e 91 dias (%)

Os resultados de 91 dias expressam o crescimento adicional de resistência, pois normalmente os concretos são dosados (proporcionados) para se atingir a resistência desejada aos 28 dias.

Este crescimento incremental tão elevado se deve ao tipo de cimento utilizado, o cimento Pozolânico, que apresenta cinzas pozolânicas na sua composição, que é usada nos cimentos de baixo custo, pois permite substituir o clínquer (cimento puro) em até 50% conforme demonstra a Tabela 4. Esta substituição provoca um retardo de crescimento de resistência até os 28 dias se comparado com os demais tipos de cimento, porém o material pozolânico é rico em Sílica (SiO_2) que se combina quimicamente com Ca(OH)_2 , o subproduto da hidratação do cimento, conforme equação 3.

Tal reação gera cristais resistentes que elevam a resistência dos concretos, especialmente em idades acima de 28 dias, quando então começa a ocorrer a maioria da hidratação do cimento e conseqüentemente a densificação do subproduto o (Ca(OH)_2). Então, no resultado a água de reuso teve sua utilização ratificada no critério de resistência mecânica à compressão que é o parâmetro mais considerado para o concreto inclusive para fins estruturais.

Efetivamente parece que a metodologia adotada de decantação resultou numa água com poucos resíduos sólidos que não foram suficientes para influência nas propriedades mecânicas do concreto assim como no pH do mesmo, conforme Tabela 11.

Considerando que a resistência mecânica não foi afetada pela água de reuso, assim como o pH do concreto, considera-se que houve êxito no processo de decantação que separou a fase líquida do rejeito da lavagem e manteve a qualidade da água, embora o pH dessa tenha sido

alto, porém, este fator não é negativo para o concreto de cimento Portland nos critérios de resistência e nem mesmo na durabilidade.

4.4 - Carbonatação natural

Pelo processo de carbonatação natural de 200 dias, verificou-se após esse período que o concreto controle (C) apresentou o início da frente de carbonatação com 1,5 mm de camada carbonatada, conforme Figura 37. Na análise de todas as amostras verificou-se que o concreto C20, apresentou frente de carbonatação de 1,5 mm igual ao concreto C, o mesmo aconteceu com o demais concreto C50, demonstrando não haver diferença da frente de carbonatação entre estes 3 traços.

Já os concretos C80 e C100, apresentaram a frente de carbonatação de 2,5 mm de espessura, conforme Figura 38. O resultado expressa então que houve aumento de região carbonatada para os maiores teores de adição de água de reuso.

Pode-se concluir que não é recomendado ultrapassar a diluição de água de reuso acima de 50%, (para concretos estruturais), pois se evidenciou nas amostras C80 e C100 a diminuição da camada passivadora do concreto em 1 mm.

As figuras 37 e 38 apresentam a frente de carbonatação dos concretos estudados.

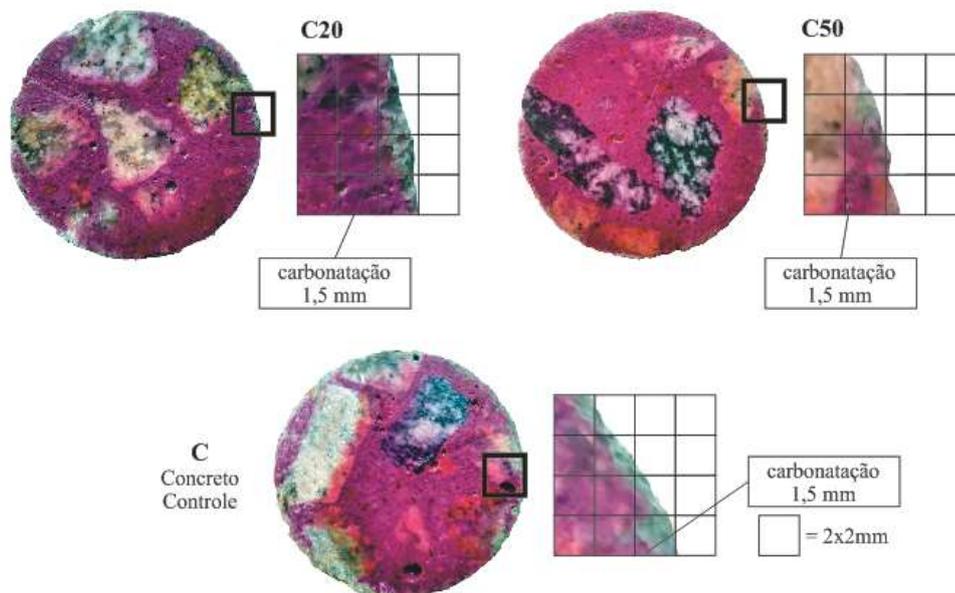


Figura 37: Frente de carbonatação concretos C, C20 e C50

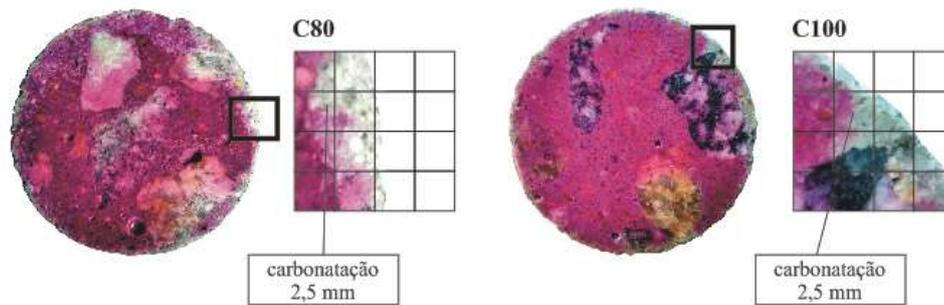


Figura 38: Frente de carbonatação concretos C80 e C100

Na Tabela 13 é apresentado os resultados da frente de carbonatação natural (200 dias) das amostras do concreto ensaiadas.

Tabela 13: Resultados da frente de carbonatação natural (200 dias)

Traço	Frente de carbonatação				
	C	C20	C50	C80	C100
Profundidade (mm)	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5

Pode-se explicar o aumento da carbonatação pela origem da água nos traços C80 e C100, que são concentrados com água de reuso, e esta por sua vez é rica em hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que é o componente que ao contato com o CO_2 carbonata naturalmente.

Dessa forma, é possível inferir que na maior concentração dos reagentes ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ e CO_2) maior será quantidade do produto Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e isto pode explicar a maior espessura de área carbonatada.

4.4.1- Análise do ensaio de pH em concreto endurecido

O resultado do ensaio de pH demonstrou que não houve variação expressiva ao aumentar a adição de água de reuso, inclusive quando a substituição da água de amassamento foi substituída por 100% da água de reuso, conforme Tabela 14. Mas observa-se que houve aumento de pH para todos os traços de concreto ao passar dos 28 para 91 dias e isso pode ser explicado porque estas amostras foram submetidas à cura submersa, portanto em um ambiente com reduzido contato com CO_2 e, portanto protegeu de certa forma os concretos contra a carbonatação natural.

O aumento de pH de 12,1 em média para todos aos traços aos 28 dias para média de 12,4 demonstra que houve avanço das reações de hidratação dos componentes do cimento e, portanto, aumento do subproduto dessa reação que é o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que por sua vez é um material alcalino.

Conforme (ALMEIDA, 2005), o concreto no seu processo de cura varia o pH de 12 a 14, ou seja, tem um grau elevado de alcalinidade. À medida que o tempo passa o pH do concreto diminui devido à presença de umidade e não oferece a mesma proteção inicial à ferragem.

Tabela 14: pH das amostras de concreto endurecido aos 28 dias e 91 dias

pH DO CONCRETO ENDURECIDO					
Traço	C	C20	C50	C80	C100
pH da água de amassamento	7,06	11,02	11,45	11,69	11,76
pH do concreto endurecido – idade 28 dias	12,13	12,11	12,13	12,11	12,11
pH do concreto endurecido – idade 91 dias	12,47	12,40	12,47	12,45	12,44

Já na Tabela 15, onde os concretos foram submetidos à carbonatação natural, verificou-se coerência com o ensaio de carbonatação e apresenta-se para os traços C, C20 e C50 com o mesmo pH na região externa (área carbonatada) na ordem de 11,9 e para os traços C80 e C100 o pH, que foi ligeiramente menor na ordem de 11,3. Isto pode ser explicado porque os traços C80 e C100 apresentaram (na área externa) a camada carbonatada de maior espessura. Na parte interna verificou-se que o pH teve valores praticamente iguais para todos os traços se considerar principalmente pequena variação inerente do próprio ensaio de medição do pH, realizado.

Dessa maneira, também se conclui que se deve buscar a diluição máxima de 50% de água de reuso para evitar a modificação do pH do concreto e diminuição da sua proteção natural pela alcalinidade da camada externa. Verificou-se também, que a durabilidade não foi afetada de modo significativo, determinada pelo ensaio de carbonatação das amostras de concreto. Conclui-se que é possível usar até 100% da água de reuso, principalmente para elaborar concretos e argamassas em meios acadêmicos e para confecção de elementos de concreto não estrutural utilizados na construção civil.

Tabela 15: pH dos concretos produzidos pós carbonatação

Valores de pH concretos carbonatados (200 dias)					
Traços	C	C20	C50	C80	C100
Área externa	11,82	11,89	11,96	11,35	11,36
Área interna	12,32	12,17	12,29	12,16	12,25

4.5 - Projeto de captação e reuso do efluente líquido (*layout*)

Conforme apresentado na parte de metodologia, verifica-se que é possível realizar um projeto de baixa complexidade que possa captar o efluente líquido, tratá-lo em processo de decantação, separando a fase líquida e fase sólida.

O projeto de coleta, tratamento e reuso de efluente líquido foi desenvolvido para o curso de Edificações do IFSul, Câmpus Pelotas, a fim de minimizar consumo de água tratada em aulas práticas e evitar o lançamento de efluente líquido (pH em torno de 12,5) em rede pública.

No projeto de reuso consta um tanque de lavagem com dimensões de (180 x 110 x 80 cm), compatível ao uso simultâneo de dois alunos, onde se encontram uma torneira que distribui água tratada (água de abastecimento público) com hidrômetro acoplado e duas torneiras para água de reuso.

O efluente gerado passa inicialmente, por uma grade metálica, que retêm grande parte dos agregados na saída do tanque, que descarrega em uma caixa de areia (60x60x70 cm), Figura 42 (a), projetada com filtro invertido duplo e removível, elaborado com duas camadas de tela metálica, de diferentes malhas, espaçadas em 10 cm entre as mesmas, com finalidade de reter agregado miúdo e partículas finas, encontradas no efluente líquido.

A seguir, o efluente líquido é encaminhado a uma série com três caixas de decantação de 500 litros cada, por um período mínimo de 48 horas. Após esse período o efluente líquido passa a ser denominado (água de reuso), que é elevado com auxílio de moto bomba ao reservatório superior, (1000 litros), responsável pela distribuição da água de reuso para duas das três torneiras dispostas junto ao tanque de lavagem, completando assim um ciclo fechado repetitivo, com capacidade de armazenamento de 2.500 litros, o qual pode ser expandido se necessário. Nos reservatórios inferiores existe um dispositivo intermediário de passagem de líquidos, controlado por registros, que permite a transferência da água de reuso diretamente entre as caixas inferiores, bem como entre as caixas inferiores e o reservatório superior.

Esse sistema pode ser utilizado quando toda e qualquer caixa inferior estiver cheia e o efluente decantado por um período mínimo de 48 horas. Tal situação pode acontecer em finais de semana quando não há atividades no laboratório didático.

Para a implantação do sistema desenvolvido, serão necessários aproximadamente 7,00 m² de área. Na Figura 39 é apresentado o local de implantação do sistema no laboratório didático.

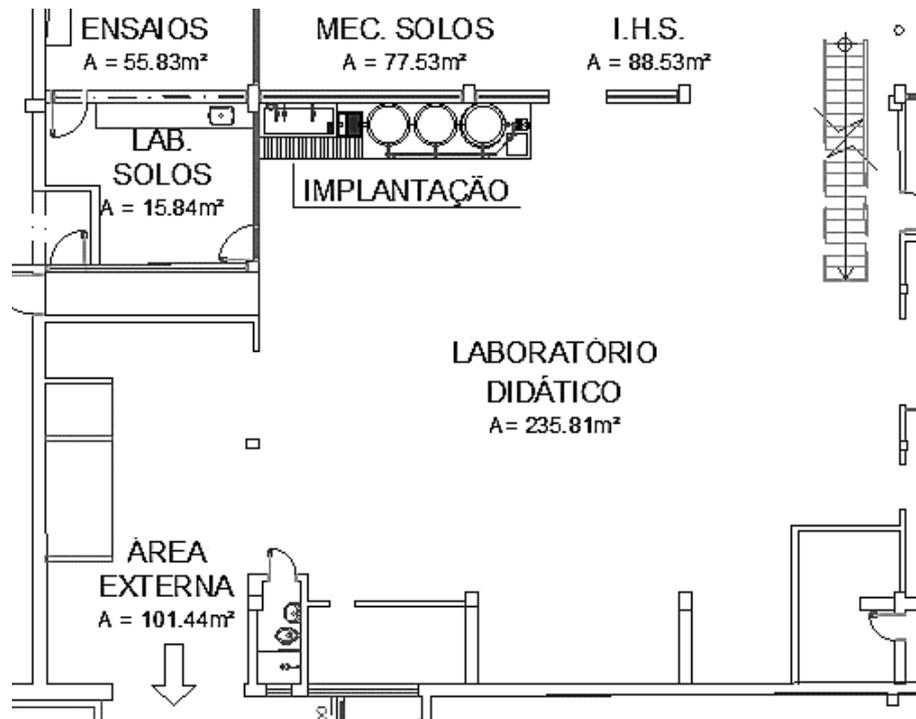
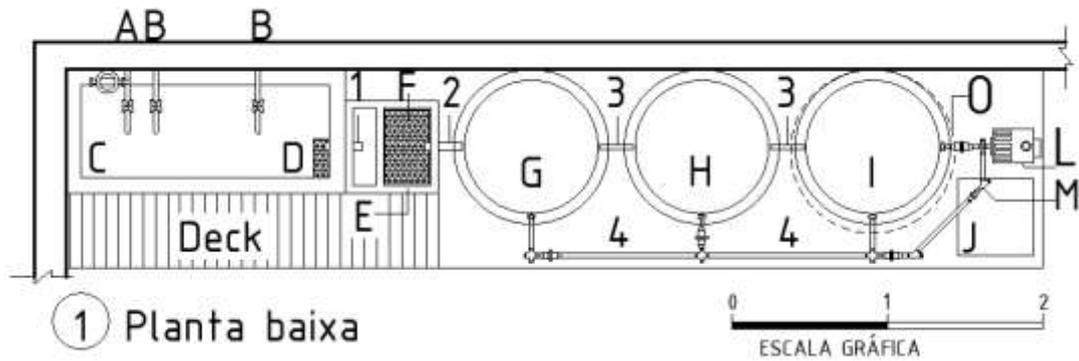


Figura 39: Implantação-laboratório didático

O sistema de reciclagem de água, conforme projeto proposto pode ser implantando no espaço adjacente ao laboratório de materiais sem comprometer a área de práticas do laboratório. O resultado do estudo da proposta do sistema de reciclagem de efluente líquido está representado nas figuras abaixo (figuras 40, 41, 42 e 43).

Na Figura 40 é apresentado em planta baixa o sistema desenvolvido de captação, armazenamento e tratamento de efluente líquido gerado em laboratório didático, e na Figura 41 é apresentado o corte longitudinal do projeto.



LEGENDA DO PROJETO

A- Água tratada	K- Saída para coletor público 100 mm
B- Água de reuso	L- Motor monofásico – potência ½ cv
C- Tanque de lavagem (80x100x80) cm	M- Limpeza/comandos do sistema 32 mm
D- Grade metálica para resíduos	N- Extravasor – PVC 32 mm
E- Caixa de areia (60x60x70) cm	O- Caixa superior – 1000 litros
F- Filtro duplo removível de tela metálica	P- Alimentação água de reuso – PVC 25 mm
G- Reservatório fibra 1- 500 litros	1- Tubulação de entrada cx. – PVC 50 mm
H- Reservatório fibra 2- 500 litros	2- Tubulação de saída da cx. – PVC 50 mm
I- Reservatório fibra 3- 500 litros	3- Passagem superior – PVC 32 mm
J- Caixa de areia no solo (50x50x40) cm	4- Passagem intermediária – PVC 32 mm

Figura 40: Planta baixa e legenda do sistema desenvolvido para reuso de efluente líquido

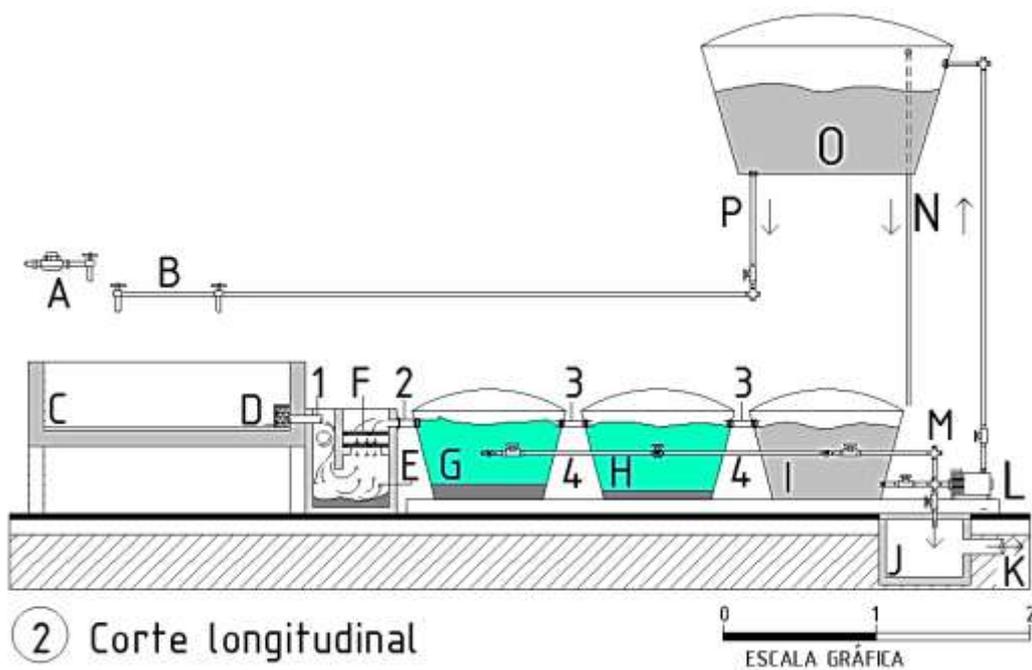
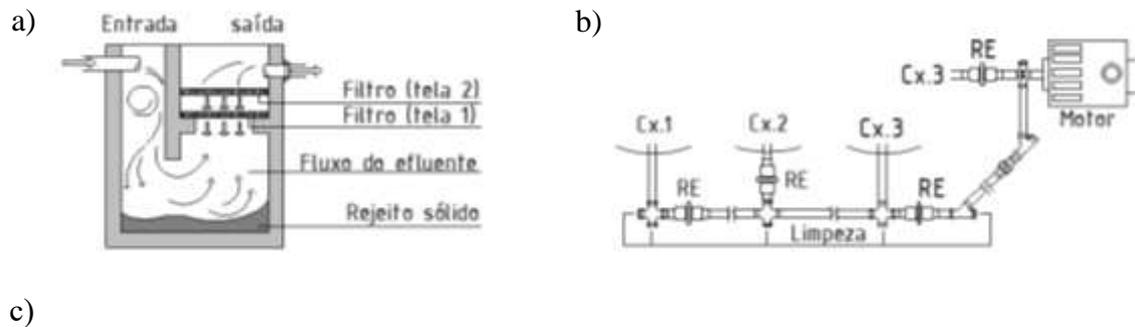


Figura 41: Corte longitudinal do sistema desenvolvido para reuso de efluente líquido

Na Figura 42 é apresentado: (a) corte esquemático da caixa de areia com filtro invertido e o fluxo de entrada e saída do efluente na caixa; (b) sistema de passagem intermediária de líquidos entre as caixas, as conexões e registros de comando, bem como o motor de recalque e os pontos de limpeza do sistema (c) legenda do projeto.



LEGENDA	
RE - Registro esfera soldável 32 mm	Cx. 3 - Reservatório fibra 3 – 500 litros
Cx. 1 - Reservatório fibra 1 – 500 litros	Limpeza – manutenção e limpeza do sistema retirando o plug rosca
Cx. 2 - Reservatório fibra 2 – 500 litros	

Figura 42: Detalhamento de (layout)

(a): Corte esquemático caixa de areia (b): Sistema de passagem de líquidos (c) Legenda do sistema

O desenvolvimento do projeto em 3D, através do software Sketchup, permite a compreensão tridimensional da proposta elaborada para um circuito fechado de efluente líquido, conforme é apresentado na Figura 43.

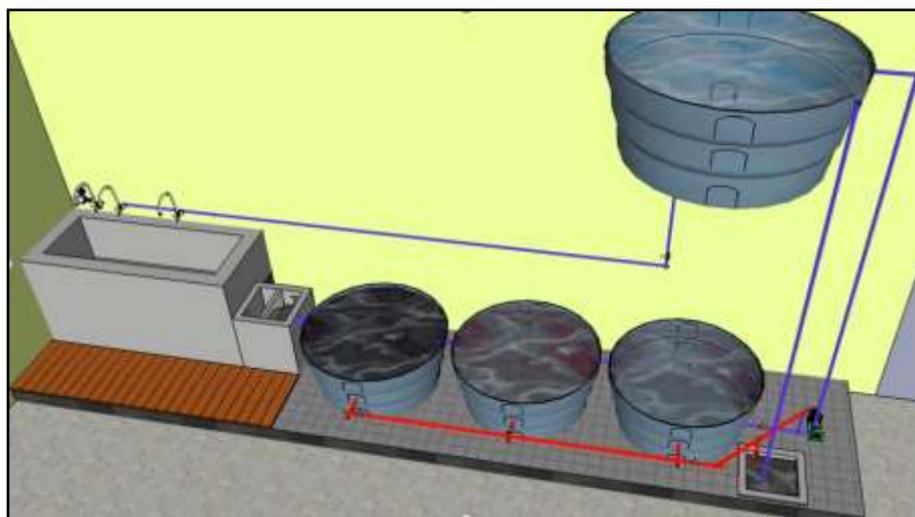


Figura 43: Proposta tridimensional para um circuito fechado

5 - CONCLUSÕES

No final deste estudo pode-se concluir que:

- As aulas práticas do curso de Edificações consomem volume relevante de água tratada de abastecimento público. Tal situação fundamenta a necessidade de um processo de racionalização do consumo de água tratada, que pode ser atingido pelo processo de reuso de efluente líquido tratado.

- O laboratório do curso de Edificações gera, durante as aulas práticas, quantidade relevante de efluente líquido e que este pode ser facilmente separado em fase sólida e fase líquida, esta última em volume suficiente para suprir parte da necessidade de água demandada neste laboratório.

- O processo de coleta do efluente líquido foi eficiente, proporcionou durante as aulas práticas a captação e armazenamento em reservatório adequado. Como resultado adicional evitou-se o lançamento de efluente líquido na rede pública de esgoto, que atente a Instituição.

- O processo de decantação do efluente líquido adotado foi eficiente e proporcionou a separação dos sólidos (areia, pedras e outros) resultando em uma fase líquida (água de reuso) de boa qualidade para uso na produção de concretos.

- Com relação aos parâmetros de resistência dos concretos produzidos com água de reuso, verificou-se não haver prejuízo algum na resistência à compressão e se esse fosse o único parâmetro a ser considerado, poderia até se recomendar usar a água 100% de reuso, pura (sem diluição).

- Considerando o parâmetro de durabilidade, verificou-se que concretos produzidos com a maior concentração da água de reuso (80% e 100%), C80 e C100, respectivamente, apresentaram camada de carbonatação mais espessa que os demais traços, inclusive o controle.

Portanto, recomenda-se usar concentração de no máximo 50% de água de reuso, quando usado em obras da construção civil, mas para as construções no laboratório didático, que são demolidas em no máximo 2 anos, pode-se usar a água de reuso pura.

- Quanto ao processo de ciclo fechado, verificou-se que é de fácil aplicação no laboratório do curso de Edificações e tornaria possível a utilização de 100% do efluente líquido produzido nas aulas práticas.

Esses resultados podem ser atingidos também nas instalações de obras de construção civil, caso utilizem sistemas similares de ciclo fechado, o que tornaria o setor mais econômico e sustentável.

6 - REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA), Disponível em: <https://www.ana.gov.br/> acesso em 23 de julho de 2020.

ALMEIDA, N.H. **Determinação do pH em Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de Obras Deterioradas por corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

ARAUJO, A. F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa**: estudo em uma empresa do setor de Construção Civil. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. ABESC. São Paulo. Disponível em: <http://www.abesc.org.br>. acesso em 20 de junho de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, (ABCP) .Disponível em: <https://abcp.org.br/> acesso em 16 de julho de 2020.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: Informação e documentação numeração progressiva das seções de um documento - Apresentação . Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**: Informação e documentação - Sumário - Apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: Informação e documentação - Resumo - Apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação - Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto. Parte 3: Avaliação preliminar. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de Edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro 2006.

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

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON) Disponível em: < <https://abrecon.org.br/>> acesso em 24 de julho de 2020.

BARBOZA, B. C.; MARQUES, V. A. **Gestão de projetos em tubulações industriais para o setor de utilidades de uma multinacional alimentícia**. 2019. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

BEAL, D.A. FERREIRA, S. C.. **Recursos hídricos: o caso do município de Dois Vizinhos - PR**. 2013. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Prentice Hall, São Paulo. 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 2011, Seção 1, do dia 26 seguinte, página 266.

CHAIB, E. B. **Avaliação de estratégias para a redução do consumo de água de abastecimento como meio de diminuição da pressão sobre os recursos hídricos** 2016. 233 f.. Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento. Coorientadora: Diomira Maria Cicci Pinto Faria. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2016.

CHATVEERA, B.; LERTWATTANARUK, P.; MAKUL, N. **Effect of Sludge Water from Ready-mixed Concrete Plant on Properties and Durability of Concrete Cement and Concrete Composites**. Elsevier, v. 28, n. 5, p. 441-450, 2006.

CIMENTO.ORG **O Mundo do cimento**. Disponível em <https://cimento.org/> Acesso: 10 de abril de 2020.

CIMENTO ITAMBÉ Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/nova-norma-da-abnt-estabelece-criterios-para-o-uso-de-agua-em-concreto/>. Acesso: 10 de abril de 2020.

CONAMA. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>> acesso: 14 de março de 2020.

COSTA, D. M. A.; BARROS JR, A. C. **Avaliação da**

necessidade do reuso de águas residuais. HOLOS, [S.l.], v. 2, p. 81-101, dez. 2007. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/74>>. Acesso em: 22 jul. 2020. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2005.74>.

DANELUZ, D. TESSARO, D.. **Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná.** Arq. Inst. Biol., São Paulo , v. 82, 00301, 2015 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-16572015000100301&lng=en&nrm=iso>. access on 22 July 2020. Epub Apr 07, 2015. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000072013>.

DILONARDO, I. et al, Antônio Domingues de. **Avaliação metodológica da medida de carbonatação de microconcretos.** Anais. São Paulo: IBRACON, 2015.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca arroz residual sem beneficiamento.** 2008. Dissertação (mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DUART et al. Materiais de construção. Curitiba: Livro Técnico, 2016.

DUART, M.A. Efeitos da adição de nanotubos de carbono e C-S-H precipitado nas propriedades de nanocompositos cimentícios. 2017. 130 f. Tese (Doutorado), UFN, Santa Maria, 2017.

DUART, M. A. **Concreto de cimento Portland [livro eletrônico]: materiais, princípios básicos e controle tecnológico.** 1. ed. 2020.

EKOLU, SO; DAWNEERANGEN, A. **Avaliação da água reciclada recuperada de uma planta de concreto pré-misturado para reutilização em concreto.** JS Afr. Inst. Civ. Eng., Midrand, v. 52, n. 2, p. 77-82, outubro de 2010. Disponível em <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192010000200010&lng=en&nrm=iso>. acesso em 22 de julho de 2020.

FAO, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO) <https://nacoesunidas.org/agencia/fao/>.

FARIA, I. A., et al. W. M. A.. **Avaliação da influência do uso de água residuária na resistência de argamassas.** Revista interfaces do conhecimento. v. 01 | n. 01 | p. 87-97 (ISSN - 2674-998X)OUT./JAN. – 2019/2020

FERREIRA, M. B. **Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição.** 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

FIGUEIREDO, Ê. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON. 2005.

FORTES, A. C. C.. **Índice de qualidade de água para consumo humano: uma proposta de ferramenta para a vigilância da qualidade da água comunicar os resultados à sociedade.** 2018. 153 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2018.

FREIRE, R S. et al. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Quím. Nova [online]. 2000, vol.23, n.4, pp.504-511. ISSN 1678-7064. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000400013>>

GHRAIR, A. M., et al., **Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes.** Ain Shams Engineering Journal, Volume 9, Issue 4, 2018, Pages 1519-1525, ISSN 2090-4479, Disponível em: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447916301551>)

GOMES DA SILVA, P. A. J. et al. **Qualidade da água de uma microbacia com fins de abastecimento público, Chapada dos Guimarães, MT.** HOLOS, [S.l.], v. 4, p. 22-33, ago. 2014. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1977>>. Acesso em: 09 julho 2020.

HANNAD, B. et al. **Water Usage Optimization During Concrete Operations.** In: **WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS**, 2013, Cincinnati, Estados Unidos da América. Proceedings. Cincinnati: ASCE, 2013. p. 3114 - 3121.

HELENE, P.R. L; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712p

HESPANHOL, I. **Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95 75.

IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central.** 1. ed. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf> acessado em 04 maio de 2020.

IBRACON. **Concreto o material construtivo mais consumido no mundo.** Concreto & Construção, São Paulo, SP, n. 53, mar. 2009.

KUCCHE, K. J., JAMKAR, S. S., SADGIR, P. A. **International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 5, Issue 1,** January 2015 1 ISSN 2250-3153 Quality of Water for Making Concrete: A Review of Literature. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Quality-of-Water-for-Making-Concrete-%3A-A-Review-of-Kucche-Jamkar/ae20c5093fd0d28e5b2ca614a824e1836f08f13>> acesso em 15 abril 2020.

KYLEFORS, K.; ECKE, H.; LAGERKVIST, A. **Accuracy of COD test for landfill leachates.** *Water, Air and Soil Pollution*, v. 146, p. 153-169, 2003.

LIMA, J. E. F. W.; **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo**, 1ª ed., Embrapa Cerrados: Planaltina, 2001.

MALAGUTI, V. S., **Reuso de água e resíduos gerados pela lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão de concreto usinado.** Orientador Adalberto Matoski. 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MALAGUTI, V.; MYMRIN, V. A. MATOSKI, A. **Reuso de água e resíduos de lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão em novos concretos.** *Matéria (Rio J.)*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, e-11885, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000400408&lng=en&nrm=iso>. acessado em: 22 July 2020. Epub Oct 02, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0219>.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F. (2007). **Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo**. Química Nova. v. 30, n. 5, p. 1171-1178.

MARTINS, M. V. L.; RUFINO, R. R. **Análise Comparativa das Normas Brasileiras e Americanas para Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva para fins não Potáveis** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p. 306-316, 2016

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. ed. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MENDES, C. G. N. **Tratamento de águas para consumo humano - Panorama mundial e ações do PROSAB**. In: PÁDUA, V. L. (Coord.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES. 504 p. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/>>. Acessado em: março de 2020

NAIK, A. V. (2009). Watershed Management: **A Way to sustainable development**. CAB Calling Newsletter, July– Sept. 2009.

NEVILLE, A. Water – **Cinderella ingredient of concrete**. Concrete International Journal, Volume 22, p. 66-77. 2000.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto. 2º. ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.**

OLIVEIRA, D. M. et al. **Reuso de água de lavagem de caminhões betoneira em uma usina de concreto. Renefara**, [S.l.], p. 143-155, dez. 2017. ISSN 2236-8779. Disponível em: <<http://www.faculdadearaguaia.edu.br/sipe/index.php/renefara/article/view/649>>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos da Água**. [S.l.]: ONU, 1992

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencia/fao/> acesso em 16 de agosto de 2020.

PAIVA P. A., RIBEIRO M. S., **A reciclagem na construção civil: como economia de custos.** REA - Revista Eletrônica de Administração. v. 4, n. 1 (2005)

Disponível em: <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/issue/view/37>> acesso em: 28 de julho de 2020.

PAULA, HM; ILHA, MSO. Qualidade da água residencial da usina de concreto para fins de aproveitamento. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** São Paulo, v. 7, n. 3, p. 349-366, junho de 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952014000300003&lng=en&nrm=iso>. acesso em 22 de julho de 2020.

PAULETTI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação.** 2004. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004

PAZ, V. P. S. et al. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Rev. bras. eng. incluir. ambiente. , Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, dezembro de 2000. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000300025&lng=en&nrm=iso>. acesso em 22 de julho de 2020.

PEREIRA DOS SANTOS, V. et al. **Monitoramento da qualidade físico-química da água do rio Bacacheri, Curitiba – Paraná - Brasil.** **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 2, 7 fev. 2020.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland.** 11^o. ed. Rio de Janeiro : Globo, 1987.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 3. ed. São Paulo: EdiPUCRS, 2011.

RIBEIRO, P. F. C. **Caracterização dos canteiros de obras da cidade de Angicos/RN.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2011.

RIBEIRO, K. D. K. F. **A água; Brasil Escola.** Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/biologia/a-agua.htm>. Acesso em 04 de maio de 2020.

RICHTER, C. A. (2009). **Água Métodos e Tecnologia de Tratamento.** Editora Ética Blucher. Brasil.

SALEH, H.E.; RAHMAN, R.O.A. **Introductory Chapter: Properties and Applications of Cement- Based Materials.** Cement Based Materials, 2018. DOI.10.5772/intechopen.73784.

SCHULZ, C .T. E HENKES, J. A.. **Reaproveitamento d'água da estação de tratamento de efluentes: Empresa Intelbras – São José (SC)**. Revista gestão & sustentabilidade ambiental, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 338-384, out. 2013. ISSN 2238-8753. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/1686>. Acesso em: 22 jul. 2020.

SILVA, M.; NAIK, T. R.. Sustainable use of resource – Recycling of sewage treatment plant water in concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES, II, 2010, Ancona, Itália. Proceedings... . Ancona, Itália: SCMT, 2010. p. 1731 - 1740.

SILVA, V. M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado sob tensão, executadas em escala natural e reduzida**. 2007. Orientador: Prof. Dr. Jefferson B. L. Liborio. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Área: Engenharia de Estruturas. São Carlos, 2007.

SOUZA, L., Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. **Agencia Brasil, 2019**<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano>

TAYLOR, H.F.W. **Cement chemistry**, 2. ed. Londres: Thomas telford, 1997.

TESSARO, A. B; SA, J. S.; SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. Ambient. constr.**, Porto Alegre , v. 12, n. 2, p. 121-130, June 2012 . Disponível em; <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 de julho de 2020

TRATA BRASIL, Instituto Trata Brasil. Disponível em:<<http://www.tratabrasil.org.br/>> acesso em 10 de junho de 2020.

VASCONCELOS, A. H. A. de; CRUZ, T. L.; SANTANA, A. C; CARVALHO, V. S. de; BARBOSA, I. M. B. R. **Avaliação do uso da água no IFPE através do diagnóstico das instalações hidrossanitárias e hábitos de consumo**. Revista CIENTEC, Vol. 7, no 1, 56–64, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 588 p.