

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

FABIO OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL E REAL DO
USO DE ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PISOS.**

Campinas
2019

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

FABIO OLIVEIRA

AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL E REAL DO USO DE ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PISOS

Trabalho Final de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do
título de **Bacharel em Engenharia Civil** à
Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo da Universidade
Estadual de Campinas.

Orientador: Adriano Luiz Tonetti

Campinas
2019

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

OL4a Oliveira, Fábio, 1997-
Avaliação em escala real e laboratorial do uso de esgoto tratado na produção de pisos / Fábio Oliveira. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Adriano Luiz Tonetti.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Esgotos - Tratamento. 2. Água - Reuso. 3. Pisos. I. Tonetti, Adriano Luiz, 1973-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Full scale and laboratory evaluation of treated sewage in floor production

Titulação: Engenheiro Civil

Banca examinadora:

Adriano Luiz Tonetti [Orientador]

Jorge Luiz da Paixão Filho

João Tito Borges

Data de entrega do trabalho definitivo: 05-12-2019

AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL E REAL DO USO DE
ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PISOS

FABIO OLIVEIRA

BANCA EXAMINADORA

.....

Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti Orientador

.....

Prof. Dr. Jorge Luiz da Paixão Filho

.....

Prof. Dr. João Tito Borges

Aprovado em: 05/12/2019

RESUMO

Muitas regiões apresentam déficit de recursos hídricos e naturais. Nos períodos de escassez de chuvas, crises hídricas afetam diretamente a população, ocasionando problemas de abastecimento de água. Logo, a introdução de técnicas que visem atenuar o uso desse recurso, principalmente na construção civil, é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável da sociedade e para a redução dos problemas de abastecimento de água em certas regiões. A partir desse embasamento, o presente estudo visou o desenvolvimento de processos e técnicas em saneamento e a minimização do uso da água de abastecimento público. Para isso, foi avaliado o uso do esgoto tratado pela Estação de Tratamento de Esgotos Barão Geraldo (SANASA, Campinas) na produção de pisos intertravados, tanto em escala laboratorial quanto real, através de ensaios normatizados, avaliação de desempenho e consultas de mercado. Os resultados e informações obtidos mostraram que o uso de esgoto tratado na produção de pisos intertravados trouxe resultados satisfatórios quanto aos requisitos de desempenho, assim como um custo mais baixo. No entanto, os levantamentos e pesquisa de mercado comprovaram que há diversos empecilhos para a expansão desse processo, como acessibilidade, aceitação do produto fabricado com essa água, falta de normatização específica sobre o tema, infraestrutura de distribuição deficiente, entre outros.

Palavras-chave: Esgoto, tratamento, reúso, pisos intertravados.

ABSTRACT

Many regions suffer from a shortage of water and natural resources. During periods of scant rainfall, water crises directly affect the population, causing water supply problems. Therefore, the introduction of techniques to mitigate the use of this resource, especially in civil construction, is important for the sustainable development of society and for the reduction of water supply problems in certain regions. Knowing that, this sanitary study related the development of processes and techniques of sewage treatment in order to minimise the water supply. So that, the use of sewage treated by the Barão Geraldo Sewage Treatment Station (SANASA, Campinas) was tested in the production of interlocked floors, both in laboratory and real scale, through standardized tests, performance evaluation and market consultations. The results and information obtained, showed that the use of treated sewage in the production of interlocked floors brought satisfactory results related to all performance requirements, as well as a lower cost. However, surveys and market research have shown that there are several obstacles to the expansion of this process, such as accessibility, acceptance of the product made with this water, lack of specific norms on the subject, poor distribution infrastructure, among others.

Keywords: Sewage, treatment, reuse, interlocking floors

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivos específicos	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	11
2.2	ÁGUA DE REÚSO	12
2.3	PISOS INTERTRAVADOS	14
3	METODOLOGIA	18
3.1	COLETA DO EFLUENTE	18
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	18
3.3	PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	19
3.3.1	Cura dos corpos de prova cilíndricos	20
3.3.2	Ensaio para os corpos de prova cilíndricos	20
3.4	FABRICAÇÃO DOS PISOS INTERTRAVADOS	21
3.4.1	Ensaio para os pisos intertravados	22
3.4.2	Implantação dos pisos intertravados no estacionamento da FEC	23
3.5	COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DE REÚSO	24
3.6	QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA DE MERCADO	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL E DE REÚSO	26
4.2	PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA	28
4.3	PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS	31

4.4	INSTALAÇÃO DOS PISOS NO ESTACIONAMENTO DA FEC.....	33
4.5	COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE A ÁGUA POTÁVEL E A ÁGUA DE REÚSO	34
4.6	ENTREVISTA COM AS EMPRESAS.....	35
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
	ANEXO A - Questionário sobre a utilização de água de reúso pelas empresas que produzem concreto ou artefatos de concreto	40
	ANEXO B - Respostas ao questionário sobre a utilização de água de reúso pelas empresas que produzem concreto ou artefatos de concreto	45

1 INTRODUÇÃO

Em termos globais, a água disponível é muito superior ao total consumido pela população. No entanto, a distribuição é extremamente desigual e não está de acordo, na maioria dos casos, com a população e as necessidades para a indústria e a agricultura. Somado a isso, as recentes crises hídricas, decorrentes de um volume de chuvas inferior ao de anos anteriores, provocaram uma mudança nos hábitos de consumo da população e trouxe para a pauta a necessidade de se buscar formas alternativas para atender a crescente demanda por água, tanto para consumo humano como para utilização nos processos produtivos.

Nesse contexto, pesquisas que visem o uso da água contida nos esgotos sanitários, através de reaproveitamento ou reúso, são de suma importância para minimizar o consumo de água de abastecimento público em diversos setores. Segundo John (2000), a construção civil é responsável pelo consumo de até 75% dos recursos naturais.

A prática de uso de efluente tratado não deve ser feita de forma indiscriminada. É importante avaliar os riscos envolvidos no emprego desta água residuária, principalmente quanto à presença de patógenos. Além disso, deve ser feita uma caracterização dos materiais produzidos, buscando garantir que os produtos finais sejam tecnicamente, ambientalmente e economicamente compatíveis com os já produzidos no mercado.

No presente estudo procurou-se aumentar a sustentabilidade da produção de artefatos de concreto no Estado de São Paulo, mais especificamente na área das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), através da substituição de água de abastecimento público por água de reúso. Essa região é uma das principais usuárias nacionais destes produtos e sofre com o grande estresse hídrico ocasionado pelo adensamento populacional e as recentes crises hídricas.

Portanto, este estudo visa o desenvolvimento de processos e técnicas em saneamento e a minimização do uso da água de abastecimento público. Para isso, será avaliado o uso do esgoto tratado pela Estação de Tratamento de Esgotos Barão Geraldo, pertencente à Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA) de Campinas, na produção de pisos intertravados.

1.1 JUSTIFICATIVA

Muitas regiões apresentam déficit dos recursos hídricos e naturais. Nos períodos de escassez de chuvas, crises hídricas afetam diretamente a população, ocasionando problemas de abastecimento de água. A construção civil é responsável por grande parte do consumo desses recursos, como a água de abastecimento público, e a introdução de técnicas que visem atenuar o uso desse recurso na construção - tais como a produção de artefatos de concreto com água de reúso - é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável da sociedade e a minimização dos problemas de abastecimento de água em certas regiões.

1.2 OBJETIVOS

Avaliar a produção de pisos intertravados utilizando esgoto tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barão Geraldo (Campinas, São Paulo).

1.2.1 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade do efluente tratado quanto a diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos;
- Utilizar diferentes dosagens de esgoto tratado na produção de corpos de prova cilíndricos;
- Determinar a dosagem ideal de esgoto tratado para a produção de pisos intertravados;
- Avaliar as características dos pisos intertravados produzidos com a dosagem ideal quanto à resistência característica à compressão, absorção de água, avaliação dimensional e inspeção visual;
- Avaliar a durabilidade dos pisos intertravados produzidos em escala real;
- Avaliar a opinião de empresas que produzem concretos ou artefatos de concreto quanto à viabilidade do emprego de esgoto tratado como água de amassamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O crescimento populacional, a industrialização, a expansão da agricultura e as mudanças climáticas, fenômenos inerentes ao desenvolvimento dos países, vêm constantemente contribuindo para o processo de degradação e escassez dos recursos hídricos. Não são necessários maiores entendimentos técnicos para compreender que, do fenômeno da intensa urbanização, ocasionará aumento do consumo, sendo fundamental que a infraestrutura de abastecimento acompanhe este fenômeno, e que também surja ou intensifique técnicas que minimizem o uso indiscriminado e exagerado dos recursos hídricos.

A crise hídrica enfrentada pelo Estado de São Paulo entre 2014 e 2015, decorrente de um volume de chuvas inferior ao de anos anteriores, provocou uma mudança nos hábitos de consumo da população e trouxe para a pauta a necessidade de se buscar formas alternativas para atender a crescente demanda por água, tanto para consumo humano como para utilização nos processos produtivos.

A cidade de Campinas (SP) não possui um sistema próprio de armazenamento de água bruta, o que a torna dependente do Sistema Cantareira em períodos de estiagem prolongada, como a que ocorreu em 2014. O rio Atibaia é responsável por abastecer 95% da população da cidade. A SANASA, atualmente responsável pelo serviço de abastecimento de água do município de Campinas, foi obrigada a realizar, inclusive, campanhas educativas para o consumo consciente de água nesse período de escassez hídrica para evitar riscos de desabastecimento, bem como reforçar medidas de controle, desde a captação à distribuição para consumo.

Cortês et al. (2015) relataram que as questões climáticas passaram a ocupar espaço significativo na concepção de estratégias organizacionais e políticas públicas, pois possuem impacto direto na disponibilidade da água. Nesse contexto, a utilização de água de reúso em substituição à água de abastecimento público é uma medida que contribui para minimizar a problemática do uso indiscriminado da água de abastecimento público, gerando benefícios, principalmente, nos períodos de crise hídrica.

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

De acordo com a NBR 12655, concreto de cimento Portland é definido como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozzolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). (ABNT, 2015, p.3)

Geralmente, o consumo de água na produção de concreto varia de 160 a 250 litros para cada m³ de concreto.

A cura do concreto é o procedimento adotado para evitar a evaporação da água de amassamento, essencial para a hidratação do cimento e utilizada na dosagem do concreto aplicado. Ela deve ser feita durante as primeiras etapas de endurecimento e podem ser usadas várias técnicas de acordo com o tipo de construção. O tempo de cura do concreto é de pelo menos 7 dias, podendo ser estendido a até 28 dias, dependendo das condições locais de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, entre outros fatores. Há várias formas de curar o concreto, tais como:

- Cura química, através da qual um líquido é aplicado após a concretagem e cria uma membrana bem fina que impede que a água de amassamento saia;
- Cobrir as peças de concreto com sacos, mantendo-os sempre úmidos;
- Cobrir de terra ou areia, que devem ser mantidas úmidas durante o tempo de cura;
- Manter as peças imersas em água durante o período de cura;
- Molhar continuamente as peças por meio de aspersores de impacto para irrigação ou simplesmente com regadores de plantas;
- Cura a vapor, através do aquecimento do concreto com vapor d'água.

2.2 ÁGUA DE REÚSO

Na construção civil, a utilização de água de reúso em substituição total ou parcial à água potável tem se mostrado uma boa maneira de economizar recursos financeiros e ambientais. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “água de reúso é a água tratada por diversos processos, como filtração e flotação, em estações de tratamento de esgotos, a partir do afluente já tratado para

usos não potáveis” (ABNT, 2009, p.3). Um dos possíveis usos dessa água é como água de amassamento (utilizada para fazer a mistura do cimento com os agregados para formação do concreto) na fabricação de concretos, embora ainda em fase de estudos.

Esta solução, em grande escala, impactaria positivamente na redução da pressão sobre a captação de água bruta e na preservação dos recursos hídricos voltados para o consumo da população. Vale destacar que também acarretaria em vantagens econômicas tanto para as empresas quanto para os consumidores dos produtos delas, devido ao custo inferior da água de reúso comparada com a potável, reduzindo assim o custo de produção e consequentemente do produto final.

Conforme a ABNT (2009), ainda não há antecedentes suficientes para garantir a viabilidade de uso generalizado da água de reúso na produção de concreto, estando seu uso condicionado a apenas aplicações específicas em comum acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, devendo ser atendidos todos os requisitos normativos para água de amassamento.

A aceitação da água para amassamento do concreto deve estar de acordo com as diversas exigências da Norma Técnica (NBR) 15900-1:2009 e pode ser usada apenas se for comprovado que é adequada ao uso em concreto. Dentre essas exigências, destacam-se:

- A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor;
- Material sólido: máximo de 50 000 mg/L;
- $\text{pH} \geq 5$;
- O teor de cloreto na água, expresso como Cl^- , para concreto simples (sem armadura) é de 4500 mg/L;
- Teor máximo de fosfatos, expressos como P_2O_5 , de 100 mg/L;
- Teor máximo de nitratos, expressos como NO_3^- , de 500 mg/L;
- Matéria orgânica: A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH.

Malaguti (2017) analisou o efeito do reúso da água e dos resíduos de lavagem dos caminhões betoneiras na resistência à compressão de concretos, comparando-os com uma amostra-controle de água potável. Quanto à água de lavagem, esta

apresentou parâmetros em conformidade com a NBR 15900-1 (2009) e concluiu-se que a água e o resíduo de lavagem não afetaram de forma significativa a resistência à compressão, pois todas as amostras com 100% de cimento, sem substituição deste por outro componente, deram resultados de resistência superiores a 90% da amostra-controle.

Oliveira et al. (2016) avaliou a utilização de efluente tratado por duas diferentes ETE na produção de blocos vazados de concreto simples em comparação com o uso da água subterrânea. Para isto foram analisadas as características da água subterrânea e dos efluentes tratados para utilização na produção dos blocos e foi feita uma análise comparativa, de acordo com a ABNT NBR 6136 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Requisitos), das características físicas e mecânicas (dimensional, absorção, compressão) obtidas dos blocos fabricados com água subterrânea e com os efluentes tratados. Observou-se que as características físicas e mecânicas dos blocos fabricados com os efluentes tratados atenderam totalmente aos requisitos estabelecidos pela referida norma técnica, tendo sido, inclusive, obtidos melhores resultados do que os dos blocos fabricados com a água subterrânea. Também se constatou que o esgoto tratado, nos parâmetros analisados, atendeu aos requisitos para ser usado como água de amassamento, o que pode viabilizar o reúso de água, a partir do efluente tratado, na fabricação de blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

2.3 PISOS INTERTRAVADOS

O pavimento intertravado, conforme a NBR 9781, é definido como:

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. (ABNT, 2013, p.2)

As cargas a que o pavimento é exposto são distribuídas pelos blocos e resistidas em conjunto, por isso a importância do intertravamento adequado. Um piso intertravado não se desloca lateralmente quando solicitado, nem rotaciona, nem translaciona. É muito importante que as faces de cada bloco sejam bem produzidas e

paralelas, o que também garante o travamento. Quanto aos tipos, têm-se os pisos intertravados retangular, o raquete e o de dezesseis faces. Quanto à função, os blocos podem ser apenas de revestimento, possuir sinalização podotátil ou produzir áreas de estacionamento com bastante permeabilidade por espaços vazados.

A NBR 9781:2013 estabelece diversos critérios para a aceitação do lote dos pisos. A Tabela 1 apresenta a quantidade mínima de amostras para os ensaios de caracterização das peças. As peças amostradas na inspeção visual e avaliação dimensional podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão. Este último é um ensaio facultativo.

Tabela 1 - número mínimo de amostragem para ensaio.

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6
Avaliação dimensional	6
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9781 (2013)

As dimensões e tolerâncias das peças de concretos devem atender aos seguintes critérios:

- Medida nominal (que é a medida do piso especificada pelo fabricante) do comprimento de no máximo 250 mm;
- Medida real (que é a medida realizada diretamente na peça) da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm;
- Índice de forma (IF) - que é a relação entre o comprimento e a espessura da peça - menor ou igual a 4;
- Tolerâncias dimensionais das peças de ± 3 mm (tanto para comprimento, quanto para largura e espessura).

Já o valor da resistência à compressão é obtido através da razão entre a carga de ruptura e a área de carregamento, multiplicado por um fator (p) em função da altura da peça, conforme a Tabela 2. No ensaio de resistência à compressão, o corpo de prova é posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina de ensaio, fazendo com que a resultante das forças necessárias para a ruptura do corpo passe pelo centro.

Tabela 2 - fator multiplicativo para obtenção da resistência à compressão da peça

Espessura nominal da peça (mm)	P
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: ABNT NBR 9781 (2013)

Para a determinação da resistência à compressão característica estimada, admite-se que as resistências à compressão obedeçam à distribuição normal, sendo o valor característico estimado ($f_{pk,est}$) pela equação:

$$f_{pk,est} = f_p - t \times s$$

Sendo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}};$$

f_p : resistência média das peças;

f_{pi} : resistência individual das peças;

$f_{pk,est}$: resistência característica estimada à compressão;

n: número de peças da amostra;

s: desvio padrão da amostra;

t: coeficiente de Student, fornecido na Tabela 3, em função do tamanho da amostra.

Tabela 3 - coeficiente de student (nível de confiança de 80%)

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9781 (2013)

Segundo a NBR 9781:2013, a resistência característica à compressão dos blocos mínima para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais é de 35 MPa e para solicitações mais pesadas e efeitos de abrasão acentuados, superior a 50 MPa.

O ensaio de absorção de água está relacionado diretamente à impermeabilidade e a durabilidade dos blocos. Para a determinação da absorção de água, corpos de prova saturados são levados à estufa por 24 horas. O incremento de massa é obtido pela diferença entre a massa da amostra saturada e a massa após a estufa. A absorção de água, em porcentagem, corresponde ao valor da razão entre o incremento de massa e a massa após estufa, multiplicado por 100. A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

A inspeção visual consiste na observação das peças com o intuito de identificar defeitos que possam prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento. São aceitas pequenas variações de cor, devido ao processo de fabricação e à variação de matéria-prima, e o aspecto dos pisos deve ser homogêneo, com arestas regulares, ângulos retos e livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DO EFLUENTE

O efluente tratado utilizado nesta pesquisa foi proveniente da ETE Barão Geraldo, localizada no município de Campinas (São Paulo).

Nesta ETE, o esgoto bruto que chega é encaminhado, primeiramente, ao gradeamento grosseiro para remoção de sólidos grosseiros e areia. Em seguida, o afluente passa por peneiras, pela calha Parshall e por desarenadores para retirada de resíduos finos e areia. Adiante, o líquido é submetido ao tratamento biológico para degradação da matéria orgânica, através de reatores UASB e depois é submetido a tratamento biológico aeróbio por filtro biológico de alta taxa, através de filtros biológicos percoladores e decantadores secundários. Finalmente, o esgoto tratado passa por outra calha Parshall, na qual recebe antiespumante para então retornar ao corpo hídrico.

Esse efluente foi coletado em bombonas de cerca de 200 litros, e armazenados no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/UNICAMP).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

No LMC, o efluente passou por um processo de desinfecção através da adição de hipoclorito de cálcio, buscando garantir condições seguras para seu uso na produção dos pisos. Usou-se uma concentração aproximada de 2 mg/L de hipoclorito de cálcio.

Em seguida, parte do efluente foi encaminhado, após o processo de desinfecção, ao Laboratório de Saneamento (LabSan) da FEC/UNICAMP, onde houve sua caracterização para avaliar a qualidade e adequação para ser empregado como água de reúso. Vale ressaltar que essa caracterização do efluente tratado, para ser usado como água de amassamento, é prevista na norma NBR 15900 – Parte 1 (2009) da ABNT, que define as características da água para amassamento de concreto. No caso, foram levados em conta os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, série de sólidos, demanda química de

oxigênio, compostos nitrogenados, fósforo e coliformes termotolerantes. Todas as análises foram baseadas em APHA et al. (2012).

3.3 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Posteriormente, o efluente tratado foi empregado na produção de corpos de prova cilíndricos, de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro (FIGURA 1), fabricados no LMC da FEC/UNICAMP, conforme a norma NBR 5738:2015. Esses corpos de prova foram fabricados um dia após a realização das análises físico-químicas, a fim de se evitar ao máximo possíveis mudanças bruscas dos parâmetros mensurados.



Figura 1 – Corpo de prova cilíndrico de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro
(Fonte: o autor)

Na fabricação do concreto usado na moldagem dos corpos de prova, com a mistura feita em betoneira, utilizou-se cimento Portland do tipo II com adição de escória (CP II – E), areia média e pedrisco (brita zero), conforme o traço 1:2:3 e relação água / cimento de 0,45. Nas amostras, foi utilizada água com diferentes participações de esgoto tratado (Tabela 4). Foram moldados 10 corpos de prova para cada percentual de esgoto tratado especificado.

Tabela 4 - Diferentes composições de água usada na fabricação dos corpos de prova.

Água potável (% em volume)	Efluente tratado (% em volume)
0	100
25	75
50	50
100	0

Fonte: o autor

3.3.1 Cura dos corpos de prova cilíndricos

A cura do concreto foi realizada com os corpos de prova totalmente submersos em água dentro de baldes (FIGURA 2), com as mesmas percentagens de esgoto tratado e água potável que os corpos de prova submergidos no recipiente.



Figura 2 - cura dos corpos de prova cilíndricos (Fonte: o autor)

3.3.2 Ensaios para os corpos de prova cilíndricos

Fabricados os corpos de provas e transcorridos 30 dias, estes foram submetidos a ensaios para sua caracterização: absorção, inspeção visual e resistência à compressão.

Na máquina de ensaio de resistência à compressão, a área de carregamento deve coincidir com a base do cilindro de diâmetro 10 cm (FIGURA 3), conforme a NBR 5739:2018. Antes de iniciar o processo, as faces dos pratos e do corpo de prova devem ser limpas e secas, antes de serem colocados em posição de ensaio. A escala de força escolhida para o ensaio deve ser tal que a força de ruptura do corpo de prova

ocorra no intervalo em que a máquina foi calibrada. O carregamento deve ser aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique a ruptura.



Figura 3 – máquina de ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos
(Fonte: o autor)

3.4 FABRICAÇÃO DOS PISOS INTERTRAVADOS

A próxima etapa do projeto consistiu na moldagem dos pisos intertravados, de acordo com a dosagem de efluente tratado considerada ideal, ou seja, aquela ambientalmente sustentável e que atenda aos critérios de resistência à compressão e absorção exigidos pela NBR 9781:2013. Fabricaram-se cerca de 4 m² de pisos intertravados (FIGURAS 4a E 4b), metade moldados com água de reúso e a outra metade com água potável para comparação. Esses pisos foram fabricados pela empresa Pavicon, no município de Hortolândia–SP. O traço utilizado foi de acordo com a prática comercial da empresa, sendo utilizados 90 kg de cimento CP V, 380 kg de areia média, 80 kg de pedrisco, 130 kg de areia fina, 150 kg de pó de pedra e 20 L de água de reúso. As mesmas proporções foram usadas na fabricação dos pisos com água potável. Colocou-se pigmento tipo terra cota na moldagem dos pisos

para garantir coloração diferente dos pisos convencionais do estacionamento da FEC/UNICAMP, já que se previa a instalação desses pisos numa parte do estacionamento (após a realização dos testes exigidos pela NBR 9781:2013) a fim de avaliar a durabilidade em escala real.

As dimensões nominais desses pisos, em milímetros (mm), foram de 220 x 110 x 60 (comprimento x largura x espessura).



Figura 4a - Amostra de pisos intertravados fabricados pela empresa Pavicon
(Fonte: o autor)



Figura 4b - Amostra de pisos intertravados fabricados pela empresa Pavicon
(Fonte: o autor)

3.4.1 Ensaios para os pisos intertravados

Os pisos ficaram cerca de 3 semanas no local onde foram produzidos, e na primeira semana eles foram regados com o mesmo tipo de água da sua fabricação para evitar que eles perdessem sua umidade. Após essas 3 semanas, os pisos foram armazenados no LMC da FEC/UNICAMP, no qual foram realizadas as análises de resistência à compressão, absorção, inspeção visual e avaliação dimensional, medindo-se comprimento, largura e espessura dos pisos, conforme exigido pela NBR 9781:2013. Essas análises foram realizadas 53 dias após a fabricação dos pisos.

No ensaio de resistência à compressão, para os pisos intertravados, foram usadas duas placas auxiliares circulares (com diâmetro de 90 mm para a placa em contato com o piso) para centralizar o carregamento (FIGURA 5).



Figura 5 - Ensaio de compressão para os pisos intertravados (Fonte: o autor)

3.4.2 Implantação dos pisos intertravados no estacionamento da FEC

Deu-se seguimento ao projeto implantando-se os pisos intertravados em um trecho do estacionamento da FEC/UNICAMP (FIGURA 6a) onde há um fluxo considerável de veículos passando sobre esses pisos. Em um trecho colocou-se os pisos fabricados com água de reúso e no outro os fabricados com água potável (FIGURA 6b), a fim de compará-los em escala real quanto a algumas variáveis, como durabilidade, resistência, permeabilidade, lixiviação, entre outros.



Figura 6a - Local de instalação dos pisos intertravados no estacionamento da FEC/UNICAMP. (Fonte: o autor)



Figura 6b - Pisos intertravados fabricados com água de reúso (à esquerda) e água potável (à direita). (Fonte: o autor)

3.5 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DE REÚSO

Em seguida, fez-se um comparativo entre os custos da água tratada convencional de abastecimento, que normalmente é a utilizada pelas empresas que produzem concretos ou artefatos de concreto, com o custo da água de reúso. Para isso, buscaram-se informações na internet e diretamente com a SANASA.

A retirada da água de reúso é realizada na Estação Produtora de Água de Reúso – EPAR Capivari II, localizada na Estrada Campinas - Monte Mor, s/nº, Caminho 268, bairro Campina Grande, com veículo exclusivo e adequado, onde deverá figurar de forma visível e em destaque os dizeres: “ÁGUA DE REÚSO, NÃO POTÁVEL, NÃO BEBA”. Para a modalidade do recebimento da água de reúso com entrega efetuada pela SANASA, é necessário possuir um reservatório exclusivo no local para armazenamento de tal recurso, com volume compatível com a compra efetuada.

3.6 QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA DE MERCADO

Finalmente, foi feito um questionário, através do Formulários Google, a fim de entrevistar algumas empresas de produção de concreto ou artefatos de concreto, para analisar a amplitude do uso do esgoto tratado nessas empresas, assim como outros aspectos relevantes, como principais dificuldades no uso, acessibilidade, aceitação, entre outros.

Neste formulário, primeiramente o entrevistado deveria inserir o nome da empresa, a cidade que esta se localiza e a função ou cargo que ele ocupa na empresa. Em seguida, perguntava-se se ele aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto, seguindo-se dois caminhos, de acordo com a resposta dele:

a) Caminho 1: em caso de resposta afirmativa, indagava-se por que ele aceitaria empregar água de reúso na produção. Procedendo-se, questionava-se se ele já aplica água de reúso, e em caso afirmativo, quais são as principais dificuldades que ele vê no uso. Caso ele ainda não aplicasse água de reúso, perguntava-se por quais motivos ele não aplicava. Em seguida, inquiria-se ao entrevistado qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água e, finalmente, se a empresa gostaria de conhecer mais sobre este projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo.

b) Caminho 2: em caso de resposta negativa, indagava-se por qual razão ele não aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto. Em seguida, questionava-o se, garantido um custo menor e atendido os requisitos de saúde e de legislação, ele usaria água de reúso. Em caso de resposta negativa o questionário era

encerrado e em caso de resposta afirmativa inquiria-se ao entrevistado qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água e, finalmente, se a empresa gostaria de conhecer mais sobre este projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo.

Nas perguntas que a resposta não era apenas “sim” ou “não”, apresentava-se ao entrevistado uma série de possibilidades de resposta, além da opção para ele preencher outra que não se encontrava explícita, caso julgasse necessário. Essas opções de resposta e o questionário completo se encontram no ANEXO A.

Para enviar este formulário às empresas, inicialmente buscou-se na Internet o e-mail de concreteiras, assim como empresas que produzem pisos intertravados, blocos de concreto ou pré-moldados. A abrangência de envio de e-mails foi, a princípio, a empresas da região de Campinas, mas devido ao insucesso de respostas, expandiu-se para outras regiões do estado de São Paulo e do Brasil. Também se adotou a estratégia de ligar para essas empresas, que davam como resposta algum e-mail para envio do formulário, continuando ineficiente tais estratégias. Por isso, optou-se por enviar o questionário diretamente no WhatsApp das empresas que o disponibilizava na Internet, gerando maior êxito de respostas. Foram contatadas, somando-se os meios descritos anteriormente, cerca de 150 empresas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL E DE REÚSO

A Tabela 5 apresenta os resultados para as análises físicas, químicas e biológicas para o efluente analisado, assim como os limites estabelecidos pela NBR 15900-1 (2009) para a água de amassamento.

Tabela 5 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente

Parâmetro	Valor médio	Requisitos NBR 15900-1 (2009)
Sólidos totais	395 mg/L	≤ 50000 mg/L
Sólidos totais fixos	295 mg/L	-
Sólidos totais voláteis	100 mg/L	-
Sólidos suspensos totais	15 mg/L	-
Sólidos suspensos fixos	5 mg/L	-
Sólidos suspensos voláteis	10 mg/L	-
Nitrito	2,72 mg/L	-
Nitrato	4,54 mg/L	≤ 500 mg/L
Nitrogênio amoniacal	41,00 mg/L	-
Nitrogênio total Kjeldahl	46,20 mg/L	-
Coliformes Totais (NMP/100 mL)*	>2,4 x 10 ³	-
Escherichia coli (NMP/100 mL)*	>2,4 x 10 ³	-
Condutividade	1045 uS	-
Turbidez	17,8 UT	
pH	7,83	≥ 5
alcalinidade total	128,7 mg CaCO ₃ /L	-
alcalinidade parcial	101,3 mg CaCO ₃ /L	-
Fósforo	2,16 mg/L	≤ 100 mg/L
DQO filtrada	30 mg/L	-
DQO não filtrada	61 mg/L	
OD (a 23,7°C)	5,1 mg/L	-

* NMP/100mL: Número Mais Provável por 100 mililitros.

Fonte: o autor

Não foram feitos ensaios para a água de abastecimento público, já que esta, segundo a NBR 15900-1, “é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada” (ABNT, 2009, p.2).

Analisando os parâmetros de sólidos totais, nitratos, pH e fósforo, observou-se que o efluente atende aos requisitos da norma de água de amassamento. Com relação aos demais parâmetros, não há recomendações na norma para o preparo do concreto. Logo, quanto a esses parâmetros analisados, o efluente tratado estava apto para uso como água de amassamento na produção de pisos intertravados de concreto. Algumas substâncias prejudiciais e que estão citadas com a respectiva concentração máxima na norma não foram analisadas, como zinco e chumbo, visto o histórico de não incidência delas na ETE de coleta do efluente.

Malaguti (2017), em sua análise do efeito do reúso da água e dos resíduos de lavagem dos caminhões betoneiras na resistência à compressão de concretos, obteve parâmetros para a água de lavagem em conformidade com a NBR 15900-1 (2009). Já Oliveira et al. (2016), em sua pesquisa sobre a produção de blocos de concreto empregando efluente tratado por lodos ativados e por lagoas de estabilização, também constatou que, a respeito dos parâmetros analisados, o efluente tratado estava dentro dos limites estabelecidos pela norma de água de amassamento para concreto.

4.2 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA

A Tabela 6 apresenta a força necessária para a ruptura de cada corpo de prova cilíndrico (C.P.), assim como a respectiva resistência à compressão de cada um e a resistência média de cada grupo de acordo com a quantidade de água de reúso usada. Para cada proporção de água de reúso e água potável apresentada na Tabela 4, usaram-se 6 corpos de prova para o ensaio de compressão.

Tabela 6 - Dados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos

C.P.	% água de reúso	% água potável	Força (N)	Resistência individual (MPa)	Resistência Média (MPa)
1	0	100	304,61	41,52	45,75 ± 2,64
2	0	100	344,62	46,98	
3	0	100	338,73	46,18	
4	0	100	356,58	48,61	
5	0	100	320,69	43,72	
6	0	100	348,54	47,51	
7	50	50	351,70	47,94	46,23 ± 1,17
8	50	50	333,63	45,48	
9	50	50	336,97	45,94	
10	50	50	341,28	46,52	
11	50	50	344,23	46,93	
12	50	50	327,16	44,60	
13	75	25	337,75	46,04	44,41 ± 1,12
14	75	25	318,92	43,48	
15	75	25	324,22	44,20	
16	75	25	315,59	43,02	
17	75	25	325,98	44,44	
18	75	25	332,26	45,29	
19	100	0	322,45	43,96	43,88 ± 0,75
20	100	0	315,98	43,07	
21	100	0	317,55	43,29	
22	100	0	322,26	43,93	
23	100	0	321,28	43,80	
24	100	0	331,67	45,21	

Fonte: o autor

Observou-se que os valores médios de resistência à compressão foram semelhantes para os 4 tipos de proporções de água de reúso / água potável utilizadas na fabricação dos corpos de prova cilíndricos. Malaguti (2017), em sua análise do efeito do reúso da água e dos resíduos de lavagem dos caminhões betoneiras na resistência à compressão de concretos, também obteve resistências semelhantes para ambas as águas, com resultados de resistência, para as amostras feitas com água de lavagem, superiores a 90% da amostra-controle de água potável.

A Tabela 7 mostra a absorção de água (A%), em porcentagem, assim como as massas dos corpos de prova saturados (M_{umida}) e após a secagem na estufa (M_{seca}). Utilizou-se nesse ensaio 3 corpos de prova para cada proporção de água de reúso e água potável apresentada na Tabela 4.

Tabela 7 - Dados do ensaio de absorção dos corpos de prova cilíndricos

C.P.	% água de reúso	% água potável	M_{umida} (g)	M_{seca} (g)	A (%)	A (%) média
1	0	100	3902,8	3790,8	2,95	$2,99 \pm 0,06$
2	0	100	3931,8	3814,3	3,08	
3	0	100	3912,9	3801,3	2,94	
4	50	50	3914,8	3815,8	2,59	$2,94 \pm 0,23$
5	50	50	3907,2	3789,2	3,11	
6	50	50	3898,4	3780,6	3,12	
7	75	25	3902,9	3775,2	3,38	$3,03 \pm 0,24$
8	75	25	3916,4	3814,0	2,68	
9	75	25	3868,3	3755,1	3,01	
10	100	0	3953,5	3824,1	3,38	$3,01 \pm 0,25$
11	100	0	3894,1	3786,7	2,84	
12	100	0	3915,5	3808,7	2,80	

Fonte: o autor

Com esses resultados, notou-se que todas as proporções de água de reúso / água potável utilizadas na moldagem dos corpos de prova ensaiados apresentaram valores semelhantes entre si. Oliveira et al. (2016), na pesquisa sobre a produção de blocos de concreto empregando efluente tratado por lodos ativados e por lagoas de estabilização, também encontrou valores semelhantes para absorção comparando-se os blocos fabricados com esgoto tratado com os moldados com água subterrânea, com valores ligeiramente inferiores de absorção para os blocos com esgoto tratado.

Na inspeção visual, todos os corpos de prova cilíndricos apresentaram aspecto praticamente homogêneo, com apenas pequenas variações de cor, e não apresentaram defeitos como trincas e rachaduras.

Tendo em vista os resultados satisfatórios apresentados pelos corpos de prova cilíndricos feitos com apenas água de reúso, que apresentaram valores de resistência à compressão e absorção semelhantes aos corpos moldados com as outras proporções apresentadas na Tabela 4, optou-se por fabricar os pisos intertravados

com 100% de água de reúso, visando à redução do consumo de água potável nesse setor da construção civil. Fabricaram-se cerca de 4 m² de pisos intertravados, metade com água de reúso e a outra metade com água potável para compará-los.

4.3 PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS

As Tabelas 8 e 9 mostram os valores de comprimento (c), espessura (e), largura (l), índice de forma (IF), força de ruptura (Frup) e resistência à compressão (R) da amostra de pisos fabricados com água potável e água de reúso, respectivamente. Ensaíram-se 6 pisos de cada tipo de água. Vale ressaltar que o valor da resistência à compressão é obtido através da razão entre a Frup e a área da placa auxiliar circular, multiplicado pelo fator multiplicativo $p = 0,95$ para altura igual a 60 mm.

Tabela 8 - Avaliação dimensional e ensaio de resistência à compressão dos pisos fabricados com água potável

Água potável						
Piso	c (mm)	e (mm)	l (mm)	IF	Frup (N)	R (Mpa)
1	219,1	56,6	105,8	3,9	247127,6	36,90
2	219,1	58,3	106,7	3,8	233202,1	34,82
3	218,9	58,0	106,7	3,8	211431,4	31,57
4	221,4	57,8	109,3	3,8	302633,2	45,19
5	220,7	56,6	109,2	3,9	296357,0	44,26
6	219,0	58,11	105,7	3,8	214177,2	31,98
Média	219,7	57,6	107,2	3,8	250821,4	37,46

Fonte: o autor

Tabela 9: Avaliação dimensional e ensaio de resistência à compressão dos pisos fabricados com água de reúso

Água de reúso						
Piso	c (mm)	e (mm)	l (mm)	IF	Frup (N)	R (Mpa)
1	218,6	56,5	107,4	3,9	249088,9	37,20
2	219,0	57,0	107,4	3,8	217707,6	32,51
3	219,1	56,5	107,6	3,9	220453,5	32,92
4	218,8	56,3	106,7	3,9	264779,6	39,54
5	219,0	57,0	106,7	3,8	235163,5	35,12
6	218,5	56,6	106,0	3,9	236340,3	35,29
Média	218,8	56,7	107,0	3,9	237255,6	35,43

Fonte: o autor

A amostra de pisos fabricados com água potável apresentou desvio padrão de 5,44 MPa e resistência característica estimada à compressão $f_{pk,est} = 32,45$ MPa, enquanto que a amostra de pisos fabricados com água de reúso apresentou desvio padrão de 2,41 MPa e resistência característica estimada à compressão $f_{pk,est} = 33,21$ MPa. Tanto a amostra de pisos fabricados com água de reúso quanto os fabricados com água potável apresentaram valores de resistência característica à compressão um pouco abaixo do mínimo exigido para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais, que é 35 MPa.

Quanto à avaliação dimensional, tanto a amostra de pisos fabricados com água de reúso quanto os fabricados com água potável apresentaram, em algumas unidades de pisos, pequenas discrepâncias dimensionais nas medidas reais de espessura e largura (tendo em vista a tolerância de ± 3 mm) em relação às dimensões nominais.

As Tabelas 10 e 11 mostram os resultados do ensaio de absorção de água para a amostra de pisos fabricados com água potável e água de reúso, respectivamente. Ensaíram-se 6 pisos de cada tipo de água.

Tabela 10: Dados do ensaio de absorção dos pisos intertravados fabricados com água potável

Água potável			
pisos	massa úmida (g)	massa seca (g)	A (%)
1	3077,0	2921,0	5,34
2	2987,6	2817,3	6,04
3	3146,4	2988,1	5,30
4	2913,2	2744,0	6,17
5	2932,8	2761,0	6,22
6	3076,9	2920,6	5,35
média	3022,3	2858,7	5,74

Fonte: o autor

Tabela 11 - Dados do ensaio de absorção dos pisos intertravados fabricados com água de reúso

Água de reúso			
pisos	massa úmida (g)	massa seca (g)	A (%)
1	2913,7	2707,5	7,62
2	2970,3	2811,0	5,67
3	2973,3	2767,2	7,45
4	2888,9	2685,1	7,59
5	2954,5	2787,8	5,98
6	3087,7	2898,0	6,55
média	2964,7	2776,1	6,81

Fonte: o autor

Apesar de apresentarem resultados semelhantes, apenas os pisos fabricados com água potável atenderam às exigências da NBR 9781:2013 nesse ensaio, já que a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

Quanto à inspeção visual, ambas as amostras de pisos intertravados apresentaram aspecto homogêneo, com arestas regulares, ângulos retos e livres de rebarbas, defeitos (como trincas e rachaduras), delaminação e descamação.

4.4 INSTALAÇÃO DOS PISOS NO ESTACIONAMENTO DA FEC

Após os testes realizados de acordo com a NBR 9781:2013 para os pisos intertravados, e visto os bons resultados apresentados pelas amostras de pisos fabricados com água de reúso comparados com aqueles fabricados com água potável, decidiu-se pela implantação em um trecho do estacionamento da FEC/UNICAMP a fim de avaliar a resistência dos pisos em escala real.

Diante das condições ambientais às quais os pisos ficaram expostos, e ainda tendo em vista o tráfego considerável que transitou sobre estes, os pisos se mostraram resistentes, não apresentando nenhum sinal de deterioração, lixiviação ou desgaste durante o período de análise (2 anos), conforme mostra a FIGURA 7.

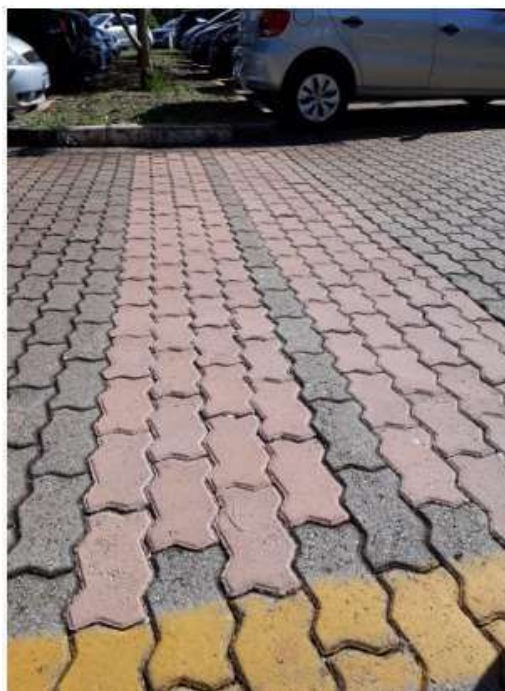


Figura 7: Situação dos pisos intertravados após 2 anos (Fonte: o autor)

4.5 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE A ÁGUA POTÁVEL E A ÁGUA DE REÚSO

Segundo dados da SANASA, para a categoria industrial com consumo superior a 50 m³, a tarifa de água tratada é R\$ 34,23 / m³, deduzindo-se uma parcela de R\$ 1.061,87 do preço final. Já a água de reúso é vendida a R\$ 283,01, valor correspondente a um caminhão de 7 m³, ou R\$ 360,20, valor correspondente a um caminhão de 14 m³, ambos já incluso o transporte. No caso de retirada feita pelo cliente através de transporte próprio, somente é cobrado o valor da água de reúso e a quantidade mínima de compra é de 10 m³, sendo que o preço unitário vigente é de R\$ 2,20 / m³.

Fazendo-se uma análise simplificada, sem considerar outras variáveis, uma empresa que produza, por exemplo, 10.000 m³ de concreto por mês, necessita de cerca de 2100 m³ de água, correspondendo a um custo de R\$ 70.821,13 referente à água tratada convencional, e a um custo de R\$ 54.030,00, caso usasse água de reúso e o transporte fosse realizado pela SANASA em caminhões de 14 m³. Essa análise simplificada mostra que a utilização da água de reúso em substituição total à água tratada convencional acarretaria custos mais baixos.

4.6 ENTREVISTA COM AS EMPRESAS

Foram obtidas nove respostas ao formulário enviado às empresas que produzem concretos ou artefatos de concreto, das quais oito foram através de contato via WhatsApp.

A Tabela 12 mostra o nome das empresas que responderam ao questionário, a localização delas e o cargo ou função da pessoa que respondeu ao questionário.

Tabela 12 - Informações das empresas que responderam ao questionário

Nome da empresa	Localização	Função/cargo do entrevistado
Concrelongo serviços de Corretagem LTDA	Paulínia-SP	Analista Comercial
Blocos Fantinato	Sumaré-SP	Auxiliar de escritório
Presto Blocos e Pisos	Itaquaquecetuba-SP	Diretor
Massa fort	Feira de Santana-BA	Gerente de vendas
Blocasa Pisos	Tatui -SP	Vendas
Pavimentadora campinas	Campinas-SP	Vendedor
Villa Stone com.ind Ltda	Campinas-SP	Proprietário
ACGBLOCOS	Ribeirão Preto-SP	Proprietária
Max Artefatos	Ribeirão Preto-SP	Proprietário

Fonte: o autor

Das nove empresas que responderam ao questionário, oito delas aceitariam usar água de reúso. Entre os principais motivos pelos quais as empresas aceitariam usar essa água, destacaram-se as questões ambientais, os custos e as recentes crises hídricas. Das oito empresas que aceitariam empregar água de reúso, três já a utilizam, e enfatizaram como dificuldades no uso o custo, o preconceito da população quanto a essa água, a infraestrutura de distribuição deficiente e a dificuldade de acesso a água de reúso. Cinco empresas ainda não usam essa água, alegando como justificativas respostas semelhantes às dificuldades encontradas pelas empresas que já a empregam.

Quanto ao papel que o governo deve ter para expandir a utilização dessa água, as empresas destacaram o incentivo deste às pesquisas sobre o assunto, a adoção de incentivos fiscais e financeiros às empresas que utilizarem água de reúso

na fabricação do concreto, a conscientização da população, a elaboração de legislação específica sobre o assunto, a cessão de certificação de qualidade para as empresas que fizerem uso dessa água e melhorar a infraestrutura de distribuição dessa água.

Referente às empresas que gostariam de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo, três das oito empresas que responderam a essa pergunta demonstraram interesse.

As respostas individuais de cada empresa se encontram no ANEXO B.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista os parâmetros obtidos para os corpos de prova cilíndricos e para os pisos intertravados moldados com água de reúso, comparados com os fabricados com água potável e às exigências da NBR 9781:2013, tais como resistência, durabilidade, absorção, e sabendo-se das necessidades de novos processos e técnicas em saneamento que visem à minimização do uso da água potável no cenário atual, a utilização de água de reúso como água de amassamento no concreto mostrou-se como boa alternativa na redução do consumo de água potável no setor de artefatos de concreto, além de acarretar um custo mais baixo.

No entanto, é necessário melhorias em diversos aspectos, a fim de proporcionar condições ideais para empregar, em grande escala, a água de reúso no concreto. Os levantamentos e pesquisa de mercado comprovaram que há diversos empecilhos para a expansão desse processo. Acessibilidade, aceitação do produto fabricado com essa água, falta de normatização específica sobre o tema, infraestrutura de distribuição deficiente e outros fatores contribuem para as dificuldades encontradas pelas empresas.

Ademais, a conjuntura climática atual exige medidas sustentáveis a curto prazo relacionadas ao uso da água, evidenciadas, por exemplo, pelas recentes crises hídricas que deixaram grande parcela da população sem acesso a água até mesmo para consumo. Para isso, é de extrema importância a participação do governo, contribuindo, no caso do uso de esgoto tratado na produção de concreto, através de incentivos a pesquisas sobre o assunto, conscientização da população, incentivos fiscais e financeiros para as empresas que adotarem o procedimento, elaboração de legislação específica sobre água de reúso no concreto, melhoria da infraestrutura de distribuição dessa água, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA/AWWAWEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21^a ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1082p.

ARES-PCJ. *Resolução ares-pcj nº 266, de 27 de dezembro de 2018*. Disponível em: <http://www.arespcj.com.br/arquivos/51120_resolu%c3%a7%c3%a3o_n%c2%ba_266_2018_-_campinas.pdf>. Acesso em 10 nov.2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 - *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio*. 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 – ABNT. NBR 9781: *Avaliação de peças de concreto para pavimentação: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2013.

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 – ABNT. NBR 15900: *Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2009.

Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia (CTCT) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). *OFICINA DE TRABALHO “USO RACIONAL E REÚSO DOMÉSTICO DE ÁGUA”*. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/inserirdocumentos-nos-artigos/oficinas/oficina-de-trabalho-uso-racional-e-reuso-domesticoda-agua/dia-2/2241-renata-gasperi/file>>. Acesso em 13 nov.2019.

CÔRTEZ, Pedro Luiz; Torrente, M. ; Alves Filho, A.P. ; RUIZ, Mauro Silva ; Dias, A. G. ; Rodrigues, R. . *Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico*. Estudos Avançados (Online), v. 29, p. 7-26, 2015.

JOHN, V.M. *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Malaguti, Vilmar dos Santos. *Reúso de água e resíduos de lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão em novos concretos*. Rio de Janeiro, 2017: SciELO.

Oliveira, D. D. N.;* Almeida, E. S.; Cardoso, L. S. P.; Viana, J. D. *Produção de*

Blocos de Concreto Empregando Efluente Tratado por Lodos Ativados e por Lagoas de Estabilização. Disponível em:< <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v8n4a03.pdf> >. Acesso em 13 nov.2019.

ANEXO A - Questionário sobre a utilização de água de reúso pelas empresas que produzem concreto ou artefatos de concreto

Utilização de água de reúso na produção de concreto

A água de reúso é produzida dentro das Estações de Tratamento de Esgoto. Ela é o esgoto tratado e disponibilizado de forma segura para alguma atividade produtiva.

***Obrigatório**

1. Nome da empresa: *

2. Cidade: *

3. Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa:

4. Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto? *

Marcar apenas uma resposta.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 5*
- ☐ Não *Ir para a pergunta 11*

5. Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Custo
- ☐ Questão ambiental
- ☐ Não ficar vulnerável a uma crise hídrica
- ☐ Aumentar a competitividade do produto
- ☐ Tornar seu produto mais ecológico
- ☐ Infraestrutura de distribuição eficiente
- ☐ Existência de parcerias com a SANASA ou outras empresas de saneamento
- ☐ Ampliar a aceitação de seu produto

- ☐ Menor preço da água de reúso
- ☐ Vantagens fiscais e/ou financeiras concedidas pelo governo
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 6.

6. Você já aplica a água de reúso? *

Marcar apenas uma resposta.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 7.*
- ☐ Não *Ir para a pergunta 8.*

7. Quais as principais dificuldades que vê no uso? *

Marque todas que se aplicam

- ☐ Custos
- ☐ Aceitação do produto
- ☐ Falta de Legislações específicas
- ☐ Preconceito da população quanto ao uso dessa água
- ☐ Infraestrutura de distribuição deficiente
- ☐ Dificuldade de acesso a água de reúso
- ☐ Diminui a competitividade do produto
- ☐ Falta de incentivo do governo
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 9.

8. Quais são as razões para não aplicar? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Custos
- ☐ Aceitação do produto
- ☐ A água que usa é mais barata
- ☐ Falta de Legislações específicas
- ☐ Preconceito da população quanto ao uso dessa água
- ☐ Infraestrutura de distribuição deficiente

- ☐ Falta de acesso a água de reúso
- ☐ Diminui a Competitividade do produto
- ☐ Falta de incentivo do governo
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 9.

9. Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ☐ Conscientizar a população
- ☐ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ☐ Certificação de qualidade para empresas que usem água de reúso nos processos
- ☐ Elaborar legislação específica sobre água de reúso
- ☐ Melhorar a infraestrutura de distribuição
- ☐ Multas para as empresas que não adotarem técnicas para expansão do uso
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 10.

10. Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo? *

Marcar apenas uma resposta.

- ☐ Sim
- ☐ No momento não estão interessados

Obrigado pela atenção. Suas respostas foram registradas.

11. Por qual razão não aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Custo
- ☐ Desconhecimento das técnicas e do uso
- ☐ Legislações
- ☐ Resistência da população quanto às consequências desse uso
- ☐ Falta de acesso a água de reúso
- ☐ Diminui a aceitação de seu produto
- ☐ A água que usa é mais barata
- ☐ Infraestrutura de distribuição deficiente
- ☐ Falta de incentivo do governo
- ☐ Preocupação com a saúde pública
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 12.

12. Se garantido um custo menor e atendido os requisitos de saúde e de legislação, você usaria água de reúso? *

Marcar apenas uma resposta.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 13.*
- ☐ Não *obrigado pela atenção. Suas respostas foram registradas.*

13. Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização da água de reúso? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ☐ Conscientizar a população
- ☐ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ☐ Certificação de qualidade para empresas que usarem água de reúso nos processos

- ☐ Elaborar legislação específica sobre água de reúso
- ☐ Melhorar a infraestrutura de distribuição
- ☐ Multas para as empresas que não adotarem técnicas para expansão do uso
- ☐ Outro:

Ir para a pergunta 14.

14. Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo? *

Marcar apenas uma resposta.

- ☐ Sim
- ☐ No momento não estão interessados

Obrigado pela atenção. Suas respostas foram registradas.

ANEXO B - Respostas ao questionário sobre a utilização de água de reúso pelas empresas que produzem concreto ou artefatos de concreto

B.1)

Nome da empresa: Concrelongo serviços de Corretagem LTDA

Cidade: Paulínia

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Analista Comercial

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta:

- ✓ Custo
- ✓ Devido aos finsos que a água de reúso possui que são benéficos ao concreto

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Sim

Quais as principais dificuldades que vê no uso?

Resposta: Preconceito da população quanto ao uso dessa água

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ✓ Conscientizar a população
- ✓ Elaborar legislação específica sobre água de reúso
- ✓ Melhorar a infraestrutura de distribuição

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: No momento não estão interessados

B.2)

Nome da empresa: Blocos Fantinato

Cidade: Sumaré

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Auxiliar de escritório

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Não

Por qual razão não aceita empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Desconhecimento das técnicas e do uso

Se garantido um custo menor e atendido os requisitos de saúde e de legislação, você usaria água de reúso?

Resposta: Não

B.3)

Nome da empresa: Presto Blocos e Pisos

Cidade: Itaquaquecetuba

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: diretor

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Questão ambiental

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Não

Quais são as razões para não aplicar?

Resposta: Falta de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta: Incentivos fiscais e financeiros para as empresas

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: Sim

B.4)

Nome da empresa: Massa fort

Cidade: Feira de Santana

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Gerente de vendas

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Resposta:

- ✓ Custo
- ✓ Não ficar vulnerável a uma crise hídrica
- ✓ Tornar seu produto mais ecológico

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Não

Quais são as razões para não aplicar?

Resposta:

- ✓ Preconceito da população quanto ao uso dessa água
- ✓ Infraestrutura de distribuição deficiente
- ✓ Falta de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Conscientizar a população
- ✓ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ✓ Certificação de qualidade para empresas que usem água de reúso nos processos
- ✓ Elaborar legislação específica sobre água de reúso

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: No momento não estão interessados

B.5)

Nome da empresa: Blocasa Pisos

Cidade: Tatui –SP

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Vendas

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Resposta:

- ✓ Custo
- ✓ Questão ambiental
- ✓ Tornar seu produto mais ecológico
- ✓ Menor preço da água de reúso

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Sim

Quais as principais dificuldades que vê no uso?

Resposta:

- ✓ Infraestrutura de distribuição deficiente
- ✓ Dificuldade de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ✓ Conscientizar a população
- ✓ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ✓ Certificação de qualidade para empresas que usem água de reúso nos processos
- ✓ Elaborar legislação específica sobre água de reúso

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: No momento não estão interessados

B.6)

Nome da empresa: Pavimentadora campinas

Cidade: Campinas

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Vendedor

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta:

- ✓ Tornar seu produto mais ecológico
- ✓ Não impactaria no produto final

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Não

Quais são as razões para não aplicar?

Resposta:

- ✓ Custos
- ✓ A água que usa é mais barata
- ✓ Infraestrutura de distribuição deficiente
- ✓ Falta de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ✓ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ✓ Melhorar a infraestrutura de distribuição

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: Sim

B.7)

Nome da empresa: Villa Stone com.ind Ltda

Cidade: Campinas

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Proprietário

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Resposta:

- ✓ Questão ambiental
- ✓ Tornar seu produto mais ecológico

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Sim

Quais as principais dificuldades que vê no uso?

Resposta: Custos

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ✓ Certificação de qualidade para empresas que usem água de reúso nos processos
- ✓ Elaborar legislação específica sobre água de reúso

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: Sim

B.8)

Nome da empresa: ACGBLOCOS

Cidade: Ribeirão Preto

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Proprietária

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Resposta:

- ✓ Custo
- ✓ Questão ambiental
- ✓ Tornar seu produto mais ecológico
- ✓ Existência de parcerias com a SANASA ou outras empresas de saneamento

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Não

Quais são as razões para não aplicar?

Resposta: Falta de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta: Conscientizar a população

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: No momento não estão interessados

B.9)

Nome da empresa: Max Artefatos

Cidade: Ribeirão Preto

Cargo/função que o entrevistado ocupa na empresa: Proprietário

Você aceitaria empregar água de reúso na produção de concreto?

Resposta: Sim

Por que você aceita empregar água de reúso na produção de concreto? *

Resposta:

- ✓ Questão ambiental
- ✓ Não ficar vulnerável a uma crise hídrica
- ✓ Tornar seu produto mais ecológico

Você já aplica a água de reúso?

Resposta: Não

Quais são as razões para não aplicar?

Resposta: Falta de acesso a água de reúso

Em sua opinião, qual deve ser o principal papel do governo para expandir a utilização dessa água?

Resposta:

- ✓ Incentivar pesquisas sobre o assunto
- ✓ Incentivos fiscais e financeiros para as empresas
- ✓ Melhorar a infraestrutura de distribuição

Utilizamos, numa pesquisa na UNICAMP, água de reúso na produção de pisos intertravados de concreto e obtivemos resultados semelhantes aos com água potável. A empresa gostaria de conhecer mais sobre o projeto e talvez auxiliar numa expansão desse estudo?

Resposta: No momento não estão interessados