

# ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA CINZA, EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL, ATRAVÉS DO USO DO BIM

Letícia Rezende Vilela<sup>1</sup>, Ana Carolina Fernandes Maciel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda na Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil -  
leticia\_vilela4@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Professora na Faculdade de Engenharia Civil - FECIV, Universidade Federal de Uberlândia - UFU,  
Minas Gerais, Brasil - anamaciel@ufu.br.

**Resumo:** *Construção Sustentável e BIM são temas centrais no desenvolvimento da Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Isso devido ao fato de ser uma indústria que promove degradação ambiental através de alto consumo de recursos naturais, como água e energia, e também pela quantidade enorme de resíduo que produz. Adotar um sistema de reuso de águas cinzas pode resultar em economia de água potável, colaborando com as metas brasileiras por maior sustentabilidade ambiental nas edificações. Com isso, é importante a realização de pesquisas que aprofundem o conhecimento da aplicação de soluções de sistemas de reaproveitamento de água não-potável. A prática de reaproveitamento de águas cinzas ainda é incipiente no Brasil e a fim de incentivar a implantação desse sistema, são necessários estudos de viabilidade econômica e técnica, para determinar a relação entre custo e benefício e o potencial de economia de água potável. Dentro dessa perspectiva, este trabalho visa determinar o período de retorno do investimento em um sistema de reutilização de águas cinzas para fins não potáveis em uma edificação residencial multifamiliar em Uberlândia (MG), utilizando uma ferramenta BIM. A metodologia BIM, apresenta ferramentas que podem auxiliar em análises de compatibilização e de orçamentação de forma a gerar resultados mais rápidos em comparação com métodos convencionais, economizando tempo e recursos substanciais. Foram definidos os sistemas de coleta, de distribuição e de tratamento de água para a edificação e, com isso, foi possível realizar a estimativa de custos de implantação do sistema de reuso de águas cinzas, que ao final apresentou um período de retorno de 7,7 anos para o capital investido.*

**Palavras-chave:** *Águas cinzas; período de retorno; reuso de águas; BIM.*

**Abstract:** *Sustainable Construction and BIM are central themes in the development of the Architecture, Engineering and Construction Industry (AEC). This is due to the fact that it is an industry that promotes environmental degradation, through a high consumption of natural resources, such as water and energy, and also because of the enormous amount of waste it produces. Adopting a system of reuse of grey water can result in savings of potable water, collaborating with the Brazilian goals for greater environmental sustainability in buildings. Thus, it is important to carry out research that deepens the knowledge of the application of solutions of systems for the reuse of non-potable water. The practice of reuse of grey water is still incipient in Brazil and in order to encourage the implementation of this system, economic and technical feasibility studies are needed to determine the relationship between cost and benefit and the potential for saving potable water. Within this perspective, this work aims to determine the period of return on investment in a system for the reuse of grey water for non-potable purposes in a multi-family residential building in Uberlândia (MG), using a BIM tool. The BIM methodology presents tools that can help in compatibilization and budgeting analysis in order to generate faster results in comparison with conventional methods, saving substantial time and resources. The systems of collection, distribution and treatment of water for the building were defined and, with this, it was possible to estimate the costs of implementing the system of reuse of grey water, which at the end presented a period of return of 7,7 years for the capital invested.*

**Keywords:** *Grey water; period of return; water reuse; BIM;*

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Graf et al (2012), o setor da construção civil é um dos maiores causadores de impactos ao meio ambiente. Devido ao fato de ser uma indústria que promove degradação ambiental, através de alto consumo de recursos naturais, como água e energia, e também gera alta quantidade de resíduos (WONG E ZHOU, 2015). No Brasil, o índice de perda física de água potável antes que a água chegue ao consumidor final é extremamente alto, se comparado com outros países. As perdas de água tratada incluem casos de vazamentos e ligações clandestinas e, no total, correspondem à cerca de 39% da água produzida (IBNET, 2011).

Atualmente observa-se o incentivo a elaboração de projetos seguindo diversas especialidades em sistemas de avaliação de construção sustentável, como o *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)* que está dividido em: localização e transporte; terreno sustentável, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, eficiência em água (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2016), o PROCEL EDIFICA, que visa demonstrar o nível de eficiência energética da edificação (ABREU, 2015), e a certificação AQUA-HQE, que classifica o perfil ambiental do empreendedor de acordo com 14 categorias de preocupação ambiental estabelecidas pelo processo (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

De acordo com o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável), a construção civil, com suas edificações e canteiros de obra, é responsável por cerca de 50% do consumo de água potável em áreas urbanizadas. Em Vitória - ES (Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN), por exemplo, essa porcentagem pode chegar a 84%. Ainda segundo o Conselho, a substituição da utilização de água potável por fontes alternativas de água, podem reduzir as taxas em 30% a 40%, colaborando significativamente para a redução dos impactos causados pela construção civil ao meio ambiente. Por essa razão, o CBCS considera importante a realização de pesquisas que aprofundem o conhecimento da aplicação de solução de sistemas de reaproveitamento de água não-potável, enfocando não somente nos elementos de tratamento e armazenagem da água, mas também em todos os demais componentes (tubulações, comandos hidráulicos, aparelhos sanitários, etc.).

A água é um recurso renovável, porém sua utilização de forma irresponsável pode comprometer a qualidade e principalmente sua disponibilidade. Com o crescente aumento populacional, a demanda pelos recursos hídricos aumenta concomitantemente. Segundo Braga e Kelman (2016), no Brasil, após a crise hídrica nos anos de 2014 e 2015, que atingiu grandes metrópoles como o Rio de Janeiro e São Paulo, que registrou a estiagem mais severa em 125 anos, houve um despertar acerca da necessidade da conservação de água. Por isso é fundamental que as tecnologias a respeito do reaproveitamento de água da chuva e água residuária sejam desenvolvidas como soluções alternativas para prevenir a escassez de água.

A crise hídrica que atingiu o Distrito Federal em 2016 foi a pior registrada, a seca reduziu os níveis dos principais reservatórios, fazendo, por exemplo, com que a Barragem do Descoberto chegasse a menos de 20% de sua capacidade (ADASA,2016). Isso demonstra quão limitada é a disponibilidade hídrica nessa região, em que há demanda crescente por água. Para atender a demanda, a concessionária local está buscando novos recursos hídricos para aumentar a oferta de água (CAESB, 2014). Essa solução, além de agredir o meio ambiente, promove a captação de água cada vez mais distantes o que geram custos elevados para à sociedade e às empresas de saneamento (SANT'ANA, 2017).

Apesar do governo brasileiro não aplicar incentivos fiscais para disseminar o reaproveitamento de águas, o poder legislativo e os órgãos públicos vêm apresentando várias leis e resoluções que estimulam essa prática. Mesmo que não exista uma Lei Federal voltada para o reuso de águas em edificações, porém esse tema é abordado pela Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de

Recursos Hídricos – CNRH, que estabelece diretrizes e critérios para o reuso de águas para fins não potáveis. Cabe aos Estados e Municípios a criação de leis, para o reuso, específicas para cada região.

Em São Paulo (SP), por exemplo, a Lei Municipal nº 16.174/2015 estabelece regras e medidas para o reuso de águas provenientes dos efluentes de esgoto tratado e da água de chuva em obras urbanas que não requeiram água potável e novas construções, como em empreendimentos imobiliários. Em Brasília (DF), a Lei Distrital nº 4.671/2011 dispõe sobre a obrigatoriedade, para novas unidades habitacionais e comerciais, a instalação de reservatórios de captação de águas pluviais. Outra lei, como a do município de Guarulhos (SP), prevê desconto de 3% no imposto para imóveis edificados que adotarem o sistema de reuso, como meio de incentivo.

A prática de reaproveitamento de águas cinzas ainda é incipiente no Brasil, e existem poucas experiências sobre gerenciamento deste tipo de água nas edificações, licenciamento, operação e manutenção. Sua aplicação envolve questões como controle ambiental, processos construtivos de edificações e saúde pública. Em países desenvolvidos, como o Japão, EUA, Canadá, Reino Unido e Alemanha, a aplicação desta prática é crescente. Adotar o reuso de águas cinzas pode resultar em economia de água potável e de energia elétrica, e em maior escala, pode resultar em preservação dos mananciais de água, devido a redução do lançamento de rejeitos nas zonas urbanas em decorrência da diminuição na captação de água (GONÇALVEZ, 2006).

Na prática, nota-se que, no Brasil, os proprietários, empreiteiros, projetista e gestores prediais possuem pouco orientação a respeito do reaproveitamento de águas pluviais e cinzas em edificações, o que dificulta a disseminação do uso desse sistema e podendo resultar em instalações prediais inadequadas. Para que haja a implantação desse sistema, vários fatores influenciam: fatores econômicos, saúde e bem-estar do usuário, segurança e qualidade da água, operação e manutenção do sistema hidráulico (SANT’ANA, 2017).

A fim de incentivar a implantação do sistema de reaproveitamento de águas residuárias, são necessários estudos de viabilidade econômica e técnica, para determinar a relação entre custo e benefício e também para verificar o potencial de economia de água potável. Para realizar estimativa de custo da forma tradicional, nota-se dificuldades causadas pela falta de exatidão ao na extração de quantitativos, o que traz desperdícios no orçamento final de uma obra e baixo controle na execução. Diante disso, é imprescindível a introdução de novas tecnologias para tornar as etapas de planejamento e orçamento as mais próximas da realidade, de forma mais rápida e interativa.

Nesse cenário, a metodologia BIM, apresenta ferramentas que podem auxiliar em análises de compatibilização e de orçamentação de forma a gerar resultados mais rápidos em comparação com métodos convencionais, economizando tempo e recursos substanciais. Como exemplo, podemos citar a facilidade com o fornecimento das quantificações do projeto para análise orçamentária, o BIM é capaz de fornecer tabelas com quantidades exatas e automatizadas e ajudar na redução significativa das variações das estimativas de custos (SABOL, 2008, apud SANTOS, 2009 p. 40).

O *BIM (Building Information Modeling)*, ou Modelagem da Informação da Construção, é uma metodologia compreendida como um conjunto de processos, ferramentas, e tecnologias que são facilitadas por *softwares* que permitem a leitura de um edifício, sua performance, seu planejamento, sua construção e seu funcionamento (EASTMAN et al., 2011). Inclui parâmetros, ou seja, informações que permitem que o projeto aconteça não apenas na etapa 3D, mas também permite as etapas de planejamento-4D, orçamentação-5D, análises de sustentabilidade-6D e manutenção-7D.

Esse trabalho teve como objetivo o reuso de águas cinzas (águas provenientes do esgoto produzido pelo chuveiro e lavatório,) aplicado em uma edificação residencial multifamiliar, em

Uberlândia (MG), com o intuito de analisar a viabilidade econômica de se adotar esse tipo de sistema e determinar o período de retorno do investimento. Para tanto, foram utilizadas duas ferramentas *BIM*, como forma de facilitar e tornar mais rápido o processo de modelagem dos projetos, compatibilização desses e quantificação exata e automatizada dos materiais para embasar as estimativas de custos e assim reduzir a variação existente no formato tradicional.

O estudo de caso realizado pode contribuir para futuros estudos do tema e estimular construções baseadas nos princípios da sustentabilidade ambiental, tendo como foco a redução do consumo de água.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Utilização do BIM na compatibilização de projetos e orçamento

A metodologia *BIM* pode ser compreendida como um novo paradigma de desenvolvimento de empreendimentos relacionados a construção civil, abrangendo todas as etapas da concepção e definição de uma obra, contemplando os detalhamentos, planejamento, orçamentação, construção, manutenção e até reformas e demolições. É um processo baseado em modelos paramétricos da edificação, que visa integrar os profissionais e os sistemas de modelagem de projetos entre diversas especialidades envolvidas em todas as etapas. O *BIM*, segundo Ferreira (2007) abrange geometria, relações espaciais, indicadores geográficos, quantificação e propriedades de produtos empregados na obra. Sendo que um modelo de edifício realizado em *BIM* pode conter dados completos sobre a construção, seu ciclo de vida, operação, processos construtivos e instalações.

A compatibilização de projetos, segundo Mikaldo (2007), é o gerenciamento de vários projetos e sistemas de um edifício. Essa atividade busca detectar as possíveis interferências entre os projetos e sistemas, por serem dependentes entre si, criando integração entre as disciplinas e tornando o empreendimento viável. A compatibilização pode ser feita sobrepondo desenhos em 2D, modelagem 3D ou utilizando o *BIM*. De acordo com Estman et al. (2014), o uso do *BIM* para compatibilização facilita esse processo e o torna mais confiável, visto que as disciplinas estão interligadas entre si, possibilitando verificações sistemáticas e análises visuais em três dimensões.

Para definição rápida do grau de fiabilidade das informações geradas a partir de um modelo *BIM*, foi criada uma estrutura conceitual que identifica o grau de desenvolvimento do projeto e detalhamento das informações podendo ser feita de maneira coordenada por uma equipe de trabalho. Essa estrutura é chamada de LOD, *Level of Development*, em português, Nível de desenvolvimento (MANZIONE, 2013). Os níveis de desenvolvimento são definidos pela *American Institute of Architects* (2015) em cinco graus, sendo: 100 (fase conceitual), 200 (geometria aproximada), 300 (geométrica precisa), 400 (execução) e 500 (obra concluída).

A metodologia *BIM* tem como resultado projetos mais detalhados, não só devido às informações de um modelo de projeto, mas também pela automatização dos processos, o que elimina as causas de escassez de detalhes, erros e omissões em projetos (VASCONCELOS, 2010). O *BIM* facilita as etapas de confecção de um orçamento, tornando a fase de interpretação de memoriais descritivos menos desgastantes, já que suas descrições estão contidas nas peças do projeto. A construção virtual facilita a coordenação das alternativas de desenho e planejamento, sincroniza e analisa as possíveis mudanças no desenho, custo e cronograma (AZEVEDO, 2009).

Assim pode-se afirmar que o *BIM* surge para auxiliar os profissionais na elaboração de um bom planejamento de obra, através de ferramentas capazes de facilitar a visualização da obra como um todo, e sua utilização para compatibilização e orçamentação traz resultados mais confiáveis, reduzindo o número de falhas humanas, pois os programas *BIM* geram tabelas com

análises automatizadas das interferências entre os projetos e quantitativos exatos para orçamentação.

## **2.2. Dimensionamento do sistema de reaproveitamento de águas cinzas**

A reutilização de águas cinzas em edifícios residenciais, além de contribuir com a redução do consumo de água potável, pode reduzir o volume de contaminantes do solo e dos corpos d'água. Segundo Alves et al. (2009), em alguns casos, principalmente para edifícios de grande porte, a prática de reuso de águas cinzas pode ser uma opção mais atrativa do que a utilização de águas pluviais, porque as águas pluviais são dependentes das condições climáticas, enquanto a água cinza está sempre presente no cotidiano da edificação.

As águas residuárias residenciais são classificadas como águas claras, as de origem pluvial, águas cinzas, aquelas provenientes dos lavatório, chuveiros, tanques e pias, que contêm contaminantes químicos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, e por último as águas negras que são as originadas dos vasos sanitários, com elevada contaminação de origem orgânica. Para esse estudo, o foco foi no reaproveitamento de águas cinzas, que é menos utilizada no Brasil por apresentar sistema mais complexo de dimensionamento e tratamento dos efluentes. Pode-se dizer que a água cinza é independente das condições climáticas e está sempre sendo produzida em uma edificação, sendo uma vantagem sobre o reuso de água das chuvas, que é mais utilizada no Brasil.

Para o dimensionamento, é necessário conhecer as características da água cinza, bem como os riscos derivados da utilização inadequada deste tipo de sistema. Segundo May (2009), os seguintes riscos podem existir:

- Risco da disseminação de doenças devido à exposição a microrganismos na água, podendo causar danos à saúde pública;
- Risco de proliferação de bactérias na água;
- Presença de odor produzido pela decomposição da matéria orgânica;
- Risco de desgaste de peças e equipamentos;
- Risco de entupimento das tubulações de alimentação e distribuição dessas águas.

Também é importante informar o usuário sobre as propriedades da água, que apesar de não apresentar cor perceptível e pela ausência de odor após o tratamento, continua sendo uma água não potável, que poderá somente ser utilizada para fins não potáveis. Para evitar possíveis problemas com a saúde dos usuários, é imprescindível uma boa sinalização para alertar as pessoas da presença de águas cinzas nos equipamentos.

A ABNT NBR 13.969:1997 classifica os tipos de água de reuso em classes, definindo padrões de qualidade, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos parâmetros de qualidade de água para reúso.

Classe	Uso Previsto	Parâmetros de qualidade da água de reúso	
1	Lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes  **Nível de tratamento sugerido: tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e cloração.	Turbidez	< 5 NTU
		Coliformes fecais	< 200 NPM / 100 mL
		Sólidos dissolvidos totais	< 200 mg/L
		pH	6 a 8
		Cloro residual	0,5 a 1,5 mg/L
2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.  **Nível de tratamento sugerido: tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração de areia e desinfecção.	Turbidez	< 5 NTU
		Coliformes fecais	< 500 NPM / 100 mL
		Cloro residual	> 0,5 mg/L
3	Reúso em descargas de bacias sanitárias – normalmente efluentes de enxágüe das máquinas de lavar roupas satisfazem aos padrões, sendo necessário apenas a cloração.  **Nível de tratamento sugerido: tratamento aeróbio seguido por filtração	Turbidez	< 10 NTU
		Coliformes fecais	< 500 NPM / 100 mL
4	Reúso nos pomares cereais, forragens, pastos para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.  **As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.	Coliformes fecais	< 500 NPM / 100 mL
		Oxigênio dissolvido	> 2,0 mg/L

Fonte: Adaptado ABNT NBR 13.969 (1997)

Segundo o SINDUSCON (2005), o tratamento da água deve atender alguns pontos dependendo da finalidade de uso (rega de jardim, lavagem de pisos, uso em descargas sanitárias, lavagem de veículos, lavagem de roupas, recreação ou uso ornamental), essas características são:

1. Uso de águas cinzas para lavagem de pisos, rega de jardim e descarga em vasos sanitários
  - Não apresentar odores desagradáveis;
  - Não apresentar composição que possa agredir plantas ou que estimule o desenvolvimento de pragas;
  - Não deve ser abrasiva;
  - Não apresentar manchas na superfície;
  - Não apresentar riscos à saúde humana.
2. Uso de águas cinzas para lavagem de veículos
  - Contemplar as restrições do item 1;
  - Não apresentar substâncias remanescentes após secagem.
3. Uso de águas cinzas para lavagem de roupas
  - Contemplar as restrições do item 1;
  - Apresentar aspecto incolor;
  - Não deve ser turva;
  - Não apresentar algas e partículas sólidas;
  - Não deve deteriorar os equipamentos.
4. Uso de águas cinzas para recreação ou uso ornamental
  - Contemplar as restrições do item 3;
  - Não causar irritações na pele, olhos e boca dos usuários.

### **2.3. Análise de viabilidade da implantação do sistema de reuso de águas cinzas – Estudos de caso**

Uma pesquisa foi realizada sobre os trabalhos já publicados a respeito da viabilidade econômica de se adotar um sistema de reuso de águas cinzas, indicando qual o tempo de retorno do investimento da sua implantação em outras cidades brasileiras, para ser possível comparar os resultados obtidos em outra pesquisa com os dessa. Foram encontrados vários exemplos de trabalhos realizados, e dentre eles, dois foram selecionados por se assemelharem com as características da edificação utilizada nesse trabalho, e também pela quantidade de aparelhos sanitários selecionados para serem abastecidos com a água de reuso.

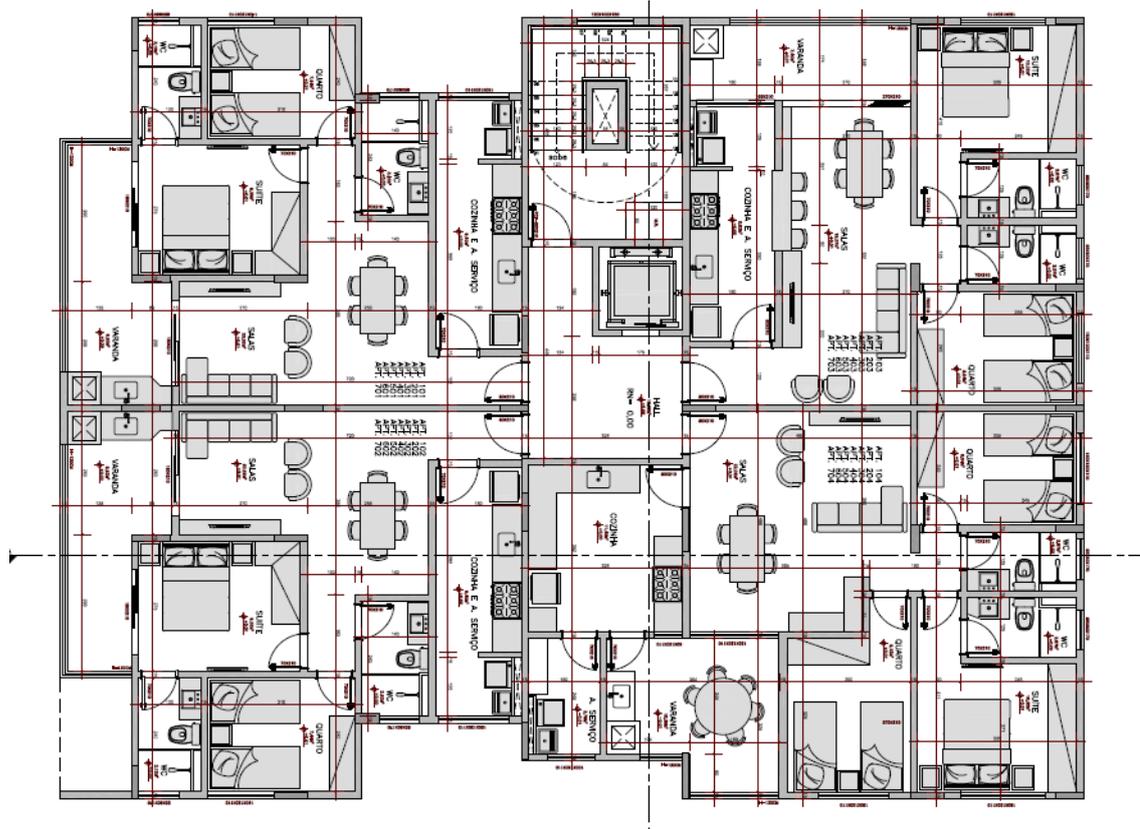
Santos (2008) analisou a viabilidade técnica e econômica da aplicação de um sistema de reuso de água cinza para uso de descargas nas 30 unidades de vasos sanitários distribuídas em 15 pavimentos em um edifício em Vitória (ES), os impactos financeiros foram demonstrados comparando os valores para o projeto original e para um projeto com reuso de águas cinzas. Para adotar o projeto com reuso de águas cinzas houve um acréscimo de 64% no valor do projeto original. Sendo que o item mais oneroso foi a estação de tratamento de águas cinzas. O retorno do investimento foi de 4,5 anos, sem considerar a aplicação da taxa de Bonificação e Despesas Indiretas (BDI).

Já Sella (2011) determinou o período de retorno de capital investido em um sistema de reutilização de águas cinzas para uma edificação unifamiliar de dois pavimentos com ocupação de 10 pessoas em Porto Alegre (RS). O trabalho foi delimitado a utilizar água não potável apenas para descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de calçadas. Observou-se a economia de consumo de água potável de 29% se comparado com o consumo da mesma casa sem o sistema de reutilização de águas. O período de retorno encontrado foi de 12 anos. O autor ainda comparou se a mesma residência fosse construída na cidade de São Paulo (SP), com uma tarifa diferente, o tempo de retorno seria de 9,95 anos.

### **3. METODOLOGIA**

O edifício utilizado para pesquisa trata-se de um projeto real, construído na cidade de Uberlândia (MG), composto por oito pavimentos, sendo sete pavimentos tipo com quatro apartamentos cada, pavimento térreo e primeiro pavimento de garagem. O terreno mede 24 por 30 metros, totalizando 720 m<sup>2</sup>, sendo que o projeto possui área total coberta de 3297,73 m<sup>2</sup> e área total descoberta de 420,84 m<sup>2</sup> (Figura 1). Cada pavimento tipo apresenta três configurações distintas de apartamentos, que são apresentadas na Tabela 2.

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: Autor (2019)

Tabela 2 - Quantidade de ambientes por apartamento

Apartamentos	Área (m <sup>2</sup> )	Quantidade ambientes por apartamento				
		Quarto	Banheiro privativo	Banheiro social	Cozinha	Área de serviço
Tipo 1	59,34	2	1	1	1	1
Tipo 2	62,85	2	1	1	1	1
Tipo 3	80,88	3	1	1	1	1

Fonte: Autor (2019)

### 3.1. Software BIM para modelagem dos projetos – Autodesk Revit®

Para esse estudo optou-se pela utilização do software Autodesk Revit® 2019, pois, essa ferramenta BIM é uma das mais utilizadas atualmente, é um programa completo, capaz de modelar e coordenar, apresentando quantificação automatizada para orçamentação, e ainda, apresentar versão de estudante gratuita.

O Revit® possui três produtos integrados: Revit Architecture®, Revit Structure® e Revit MEP® (instalações prediais), todos utilizados para a modelagem dos projetos. Os modelos de Arquitetura e Estrutura serviram como base para o de instalações hidrossanitárias. Foi utilizado nível de detalhamento 300 (LOD 300), uma vez que seriam extraídos somente quantitativos da parte hidrossanitária.

A modelagem foi feita em arquivo único com todas as disciplinas para facilitar a visualização das possíveis incompatibilidades entre os projetos. Assim foi possível, ao encontrar uma

interferência, fazer a correção durante a modelagem dos projetos originais evitando grandes alterações para a modelagem do hidrossanitário com reaproveitamento de águas cinzas, que foi feito após o dimensionamento do sistema.

### **3.2. Software BIM para compatibilização dos projetos – Autodesk Navisworks®**

A análise, verificação e correção das interferências entre os projetos de uma edificação é uma definição de compatibilização de projetos. O processo tradicional de compatibilização, e o mais utilizado ainda no Brasil, é a sobreposição de camadas (*layers*) dos projetos em um único arquivo de CAD, de forma que a detecção de interferências é feita visualmente pelo gestor de projetos. Porém, as dificuldades de visualização tridimensional, principalmente dos projetos hidrossanitários e elétricos, resulta em conferência falha, o que evidencia a limitação deste processo. Como os projetos foram modelados em um único arquivo no Autodesk Revit®, foi possível encontrar interferências antes mesmo de se utilizar um software BIM específico para coordenação de projetos.

Como todo o estudo foi realizado com o BIM, na etapa de compatibilização não poderia ser diferente, sendo assim, foi realizada no Autodesk Navisworks®, software de coordenação de projeto, com intuito de evitar falhas na checagem de interferências e visando a agilidade desse processo. O software foi escolhido por apresentar versão de estudante gratuita. E como a modelagem foi feita no Revit®, foi feita a exportação dos projetos de forma facilitada para o Navisworks® uma vez que a desenvolvedora dos programas é a mesma.

### **3.3. Dimensionamento do sistema hidráulico predial para reuso de águas cinzas**

Segundo Gonçalves (2006), no Brasil, as águas de reuso são mais utilizadas em residências para atender vasos sanitários e torneiras para lavagem de piso e rega de jardim, por esse motivo foi decidido utilizar somente água cinza para os aparelhos citados.

#### **3.3.1. Cálculo do consumo de água potável e não potável**

Para o cálculo da demanda de águas cinzas da edificação, primeiramente é realizado o cálculo da população de acordo com a quantidade de quartos existentes. Segundo Oliveira (2017), deve-se considerar a quantidade de duas pessoas por quarto. Sendo assim: quantidade de quartos x 2 pessoas/ quarto = Número total de pessoas.

A partir do valor gerado é possível calcular o consumo diário de água de edificação, que pode ser obtido através da equação:

$$CD = P * C \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo que:

CD - Consumo diário de água na edificação (L/dia)

P – Número de pessoas total a serem atendidas

C – Consumo de água por pessoa por dia

Para o cálculo da demanda de água não potável diária da edificação, foi utilizada instrução de Gonçalves (2006) (Tabela 3).

Tabela 3 - Demanda de água não potável na edificação

Demanda por utilização	
Vaso sanitário	14% do consumo
Lavagem da área impermeabilizada	4,0 L/dia/m <sup>2</sup>
	8 utilizações/mês
Irrigação da área permeável	2,0 L/dia.m <sup>2</sup>
	10 vezes/mês

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2006)

Com os valores da Tabela 3, é possível calcular a demanda interna, que corresponde à demanda do volume de água do vaso sanitário, e é necessário adicionar potencial de perda de 10% (GONÇALVES, 2006). As Equações 2 e 3 correspondem ao cálculo da demanda interna.

$$Q_{int} = Q_{vaso\ sanitário} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

$Q_{int}$  = vazão interna de água não potável da edificação (L/dia)

$Q_{vaso\ sanitário}$  = vazão do vaso sanitário (L/dia)

$$Q_{int} = CD * 0,14 * 1,1 \quad (\text{Equação 3})$$

Para o cálculo da demanda externa, segue.

$$Q_{ext} = Q_{lavagem} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

$Q_{ext}$  = vazão externa de água não potável da edificação (L/dia)

$Q_{lavagem}$  = vazão de lavagem de piso (L/dia)

$$Q_{ext} = A_{imp} * Dlv \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

$A_{imp}$  = Área impermeável do pavimento térreo e primeiro pavimento (m<sup>2</sup>)

$Dlv$  = Demanda da torneira externa para lavagem (L/dia/m<sup>2</sup>)

Com isso, o consumo diário total de água não potável é dado por:

$$Q_{np} = Q_{int} + Q_{ext} \quad (\text{Equação 6})$$

### 3.3.2. Estimativa de produção de água cinza

Gonçalves (2006) e May (2009) resumem na Tabela 4 o consumo de água em cada equipamento hidrossanitário doméstico em fontes diferentes, sendo elas: empresa DECA, fabricantes de louças e metais sanitários; pesquisas da USP (Universidade de São Paulo); pesquisas da PNCDA (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água; pesquisas dos autores Gonçalves e Bazzarela (2005). Para estimar a produção de água cinza por equipamento, foram utilizados os percentuais médios do consumo de água em cada aparelho doméstico da Tabela 4. Os aparelhos sanitários analisados nesta tabela são: chuveiro, lavatório, tanque e máquina de lavar roupas.

Tabela 4 – Consumo de água em cada equipamento doméstico

Aparelho Sanitário	DECA (2005)	USP (1990)	PNCDA (1998)	Gonçalves e Bazzarella (2005)	Valores médios
Vaso sanitário	14,0%	29,0%	5,0%	14,0%	16,0%
Chuveiro	46,7%	28,0%	54,0%	47,0%	42,9%
Lavatório	11,7%	6,0%	7,0%	12,0%	8,2%
Pia de cozinha	14,6%	17,0%	17,0%	14,0%	16,2%
Tanque	4,9%	6,0%	10,0%	5,0%	7,0%
Máquina de lavar roupas	8,1%	5,0%	4,0%	8,0%	5,7%
Máquina de lavar louças	-	9,0%	3,0%	-	4,0%

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2006) e May (2009)

Com os valores apresentados, é possível estimar a oferta de água não potável da edificação, multiplicando o consumo diário de água na edificação pela porcentagem dos valores médios para cada equipamento da Tabela 4. Com os valores resultantes, tem-se o valor total da oferta de água cinza da edificação, sendo que a oferta de água deve ser maior que a demanda da edificação. Caso a condição seja atendida, faz-se a escolha da dimensão dos reservatórios superior e inferior de água não potável. Segundo Gonçalves (2006), para escolha da dimensão dos reservatórios utiliza-se a relação 2/5 do volume da demanda para armazenagem no reservatório superior e 3/5 do volume para o reservatório inferior. É importante considerar, que no caso da edificação ficar sem reserva de água não potável, o reservatório de água potável deve abastecer o sistema de água cinza, para isso, o reservatório de água não potável deve estar em um nível abaixo do nível do reservatório superior de água potável.

### 3.3.3. Dimensionamento das tubulações

Para o dimensionamento da rede de água fria foi utilizado o método dos pesos relativos da ABNT NBR 5626:1998. O intuito desse dimensionamento é encaminhar a água tratada do reservatório superior para as bacias sanitárias e as torneiras de lavagem de toda a edificação com velocidade e pressão adequadas, sendo que não pode haver nenhum tipo de conexão entre tubulações de água potável e não potável. Para os cálculos foi utilizado o banheiro mais distante do reservatório na horizontal, no último pavimento, que é a situação mais crítica. Neste caso, se a pressão nas tubulações do banheiro mais distante atenderem as condições exigidas pela norma, pressupõe-se que as demais tubulações dos demais equipamentos da edificação terão a pressão mínima indicada.

Foi utilizado o roteiro de cálculo presente no Anexo A da ABNT NBR 5626:1998.

### 3.3.4. Dimensionamento do sistema de recalque

O bombeamento da água do reservatório inferior para o superior é feito por uma instalação elevatória. Para o dimensionamento dessa instalação, que deve conter a bomba de recalque, foi utilizado a fórmula de Forchheimer:

$$D_{rec} = 1,3 * \sqrt[4]{x} * \sqrt{Qr} \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

$D_{rec}$  = diâmetro da tubulação de recalque (m)

$x$  = número de horas trabalhadas dividido por 24 horas

$$Qr = \text{vazão de recalque (m}^3/\text{s)}$$

Após a definição da tubulação de recalque é realizada a verificação da velocidade de recalque, pela equação:

$$Qr = V * A \quad (\text{Equação 8})$$

Para o diâmetro de sucção foi considerado diâmetro comercial igual ao de recalque, já que é improvável que tenha cavitação em uma tubulação de comprimento curto.

Também é necessário verificar a perda de carga da tubulação. A perda de carga distribuída depende das seguintes características da tubulação: comprimento, diâmetro interno, da rugosidade interna e da vazão. Considerando tubos lisos (tubo de PVC), foi utilizado a Equação 9 para o calcula da perda de carga.

$$J = 0,000869 * Q^{1,75} * d^{-4,75} \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

J = Perda de carga unitária (m/m)

Q = Vazão estimada na seção (m<sup>3</sup>/s)

d – Diâmetro interno do tubo (m)

A perda de carga unitária deve ser multiplicada pelo comprimento da tubulação. Já para o cálculo da perda de carga nas conexões, foi utilizada a Tabela A.3 da ABNT NBR 5626:1998 para o cálculo do comprimento equivalente para tubos de PVC. Com isso, a perda de carga na sucção e no recalque é dada pela Equação 10:

$$\Delta h = J(L_{real} + L_{eq}) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$\Delta h$  = perda de carga (m)

$L_{real}$  = comprimento real da tubulação

$L_{eq}$  = comprimento equivalente das conexões, segundo a tabela X mostrada anteriormente

### 3.3.5. Cálculo da altura manométrica (Hm)

É a partir da altura monométrica que é possível determinar qual será a bomba utilizada no sistema. Para calcular essa altura, foi utilizada a Equação 11:

$$Hm = \sum (\text{Alturas estáticas}) + \sum (\text{perda de carga}) \quad (\text{Equação 11})$$

Após o cálculo da altura manométrica, foi feito o cálculo da potência da bomba, através da Equação 12:

$$Pot (cv) = \frac{9,8 * Hm * Qr}{\eta} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

Qr = vazão de recalque (m<sup>3</sup>/s)

$\eta$  = rendimento da bomba

### 3.3.6. Dimensionamento da tubulação de coleta

O dimensionamento do sistema de coleta da água cinza foi realizado utilizando a ABNT NBR 8160:1999, com o método de unidade de Hunter de Contribuição (UHC). Essa unidade consiste em atribuir valores de contribuição a cada equipamento hidrossanitário e a partir dela é feito o dimensionamento. Para isso foi utilizada a Tabela 3 da normativa mencionada.

### 3.3.7. Escolha do sistema de tratamento de águas cinzas

Para definição do sistema, foi escolhido um filtro que atende os parâmetros exigidos pela Classe 2, expressos na Tabela 1 do item 2.2 desse trabalho.

## 3.4. Retirada de quantitativos – *Autodesk Revit®*

Tradicionalmente, são utilizados métodos manuais para a retirada dos quantitativos de uma obra. Esse processo está sujeito a erro e exige maior dispêndio de tempo. Um orçamentista pode gastar de 50% a 80% do tempo com um orçamento com as quantificações (SABOL, 2008). Quando este processo é realizado com um *software BIM* o tempo gasto pode ser reduzido significativamente, pois é realizado de forma automatizada.

Para essa etapa, as tabelas de quantitativos de reaproveitamento de água cinza foram geradas no *software Revit®*, onde os projetos foram modelados. Essas tabelas podem ser configuradas com campos que variam de acordo com o elemento, por exemplo, no caso da tubulação a tabela possui um campo de diâmetro e comprimento, no caso de uma parede, a tabela possui o campo de comprimento, espessura, dentre outros. Depois que a tabela é gerada pode ser exportada em formato .txt, que também pode ser aberto em Excel.

## 3.5. Orçamento dos projetos

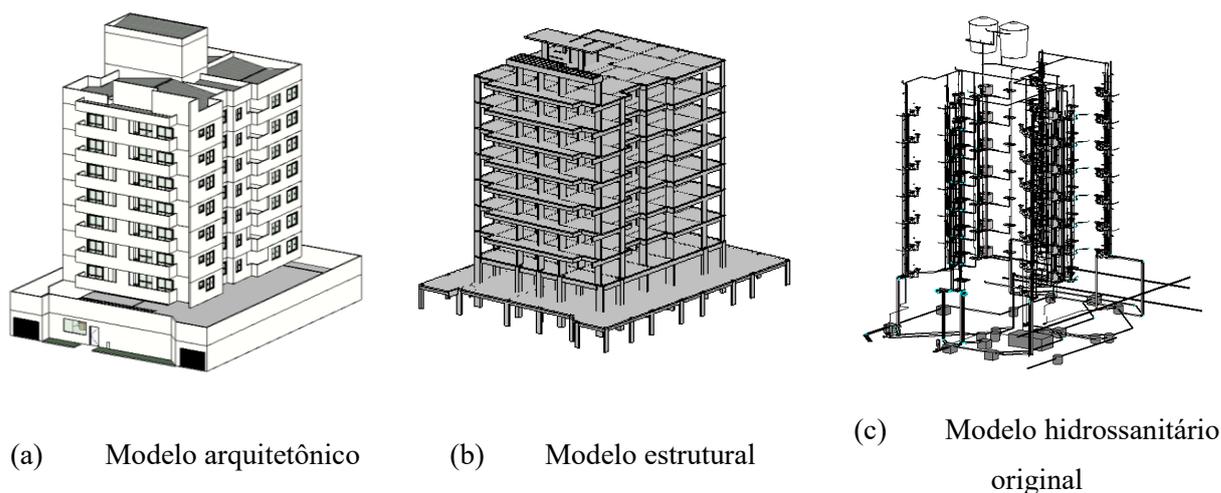
A partir dos quantitativos, foi possível fazer um orçamento detalhado do sistema de reaproveitamento de águas cinzas utilizando o programa OrçaFascio®. Com o resultado deste orçamento foi possível analisar a diferença entre o orçamento disponibilizado pela empresa que executou a obra e o orçamento do sistema de reaproveitamento. Essa avaliação de custos é importante para a determinação do período de retorno do capital investido no sistema de reuso de águas cinzas.

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4.1. Modelagem dos projetos

A modelagem dos projetos foi realizada na seguinte ordem: modelagem do projeto arquitetônico (Figura 2-a), modelagem do projeto estrutural (Figura 2-b) e modelagem do projeto hidrossanitário original (Figura 2-c). Os arquivos foram desenvolvidos em um único arquivos e depois para facilidade na compatibilização foi feito a separação das disciplinas.

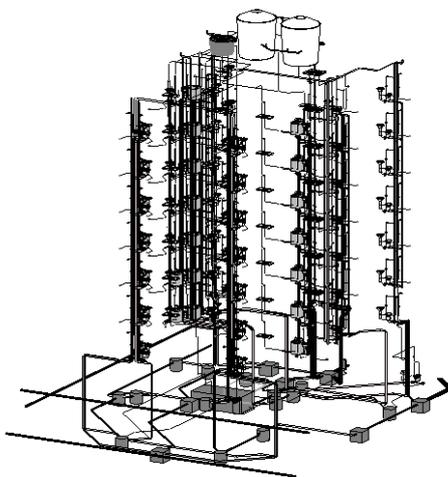
Figura 2 – Projetos modelados



Fonte: Autor (2019)

Após o dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas, foi feita a adequação do projeto hidrossanitário no *Revit*®. Na Figura 3 apresentasse uma imagem 3D da modelagem feita para o projeto hidrossanitário com reaproveitamento de águas cinzas.

Figura 3 – Projeto hidrossanitário com reaproveitamento de águas cinzas



Fonte: Autor (2019)

#### 4.2. Compatibilização dos projetos

Durante a modelagem dos projetos no *Revit*®, foi feito uma verificação visual das interferências e correções simultâneas. Como exemplo, ao visualizar a modelagem em três dimensões, foi possível verificar que todas as janelas do edifício coincidiam com as vigas e a solução adotada foi reduzir a altura das janelas (Figura 2)

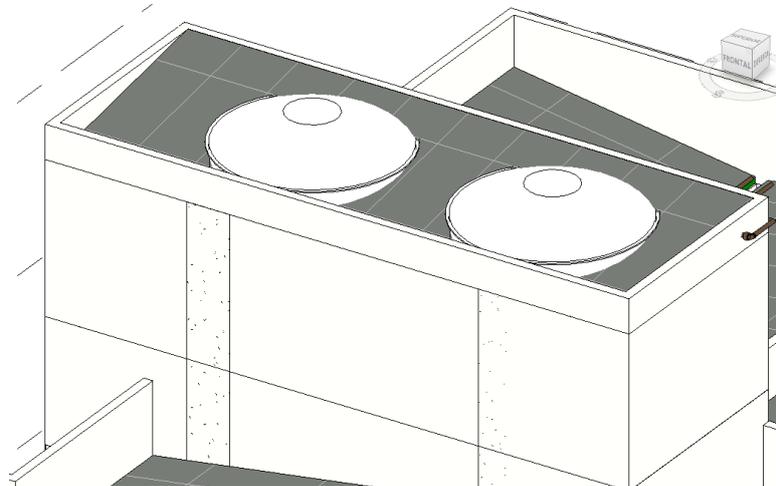
Figura 2 – Incompatibilidade das vigas com as esquadrias



Fonte: Autor (2019)

Ao acrescentar as caixas d'águas no projeto, notou-se que a altura do telhado previsto pelo projeto arquitetônico não era suficiente para cobrir as caixas, assim a solução foi aumentar a altura do pé direito no local (Figura 3).

Figura 3 – Incompatibilidade da caixa d'água com o telhado



Fonte: Autor (2019)

Após a etapa de verificação visual, os projetos foram analisados no *Navisworks*®. Foram encontradas interferências entre o projeto arquitetônico e estrutural, arquitetônico e hidrossanitário, sendo a maior quantidade de interferências encontradas entre os projetos estrutural e hidrossanitário. O projeto apresentou número significativo de interferências e a utilização do *software* otimizou essa análise, simplificando significativamente o processo de compatibilização. Após o resultado apresentado pelo programa, as correções para adequação dos projetos foram feitas no *software* de modelagem.

#### 4.3. Dimensionamento do sistema hidráulico predial para reuso de águas cinzas

A edificação totaliza 63 quartos, considerando 2 pessoas por quarto, gera-se estimativa de 126 moradores. Para Tsutiya (2005), o consumo médio de água nas residências é de 200 L/hab.dia. Portanto, o valor estimado para o consumo de água na edificação é:

$$CD = 200 * 126 = 25200 \text{ L/água/dia}$$

O valor do consumo diário é utilizado para estimar o valor da vazão de demanda de cada equipamento, bem como a vazão de oferta. Nas Tabelas 5 e 6 apresentam-se as estimativas dos valores da demanda de vazão e os valores de oferta, respectivamente.

Tabela 5 – Demanda de vazão de cada equipamento

<b>Demanda vaso sanitário (Qint)</b>	3880,8 L/dia
<b>Demanda lavagem (Qext)</b>	2690,65 L/dia
<b>Demanda total (Qnp)</b>	6571,45 L/dia

Fonte: Autor (2019)

Tabela 6 – Vazão ofertada por cada equipamento

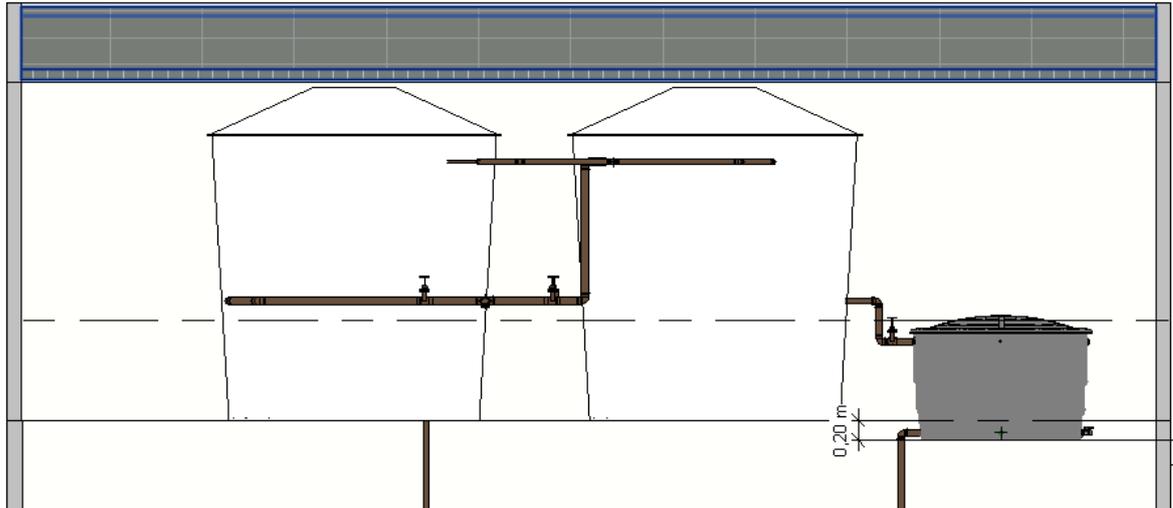
<b>Chuveiro</b>	10810,8 L/dia
<b>Lavatório</b>	2073,96 L/dia
<b>Máquina de lavar</b>	1436,4 L/dia
<b>Tanque</b>	1756,44 L/dia
<b>Total</b>	16077,6 L/dia

Fonte: Autor (2019)

Como foi definido somente a reutilização de águas cinzas nas bacias sanitárias e nas torneiras de lavagem, a oferta do chuveiro, lavatório, máquina de lavar e tanque é maior que a demanda. Assim, para atender a demanda dos equipamentos, foi utilizado para reuso somente o chuveiro e o lavatório, que no total ofertam uma vazão de 12884,76 L/dia. Nota-se que os 6571,45 L/dia de água cinza que serão reaproveitados correspondem a aproximadamente 26% do consumo diário da edificação. Em uma escala maior, a aplicação desse sistema em várias edificações, apresenta grande potencial de economia de água.

Para a demanda de 6571,45 L/dia, optou-se por utilizar reservatório inferior de 5000 L e reservatório superior de 2000 L (valores padrão de mercado). Para o reservatório superior foram considerados quatro níveis, o nível d'água mínimo para o acionamento da bomba, o nível d'água máximo para o desligamento automático da bomba, o nível mínimo para que o sensor seja acionado e o reservatório de água não potável seja alimentado pelo reservatório de água potável (caso necessário) e por fim, o nível máximo, para que o sensor desligue e feche o registro da alimentação do reservatório de água potável para o de água não potável. Para que, no caso de falta de água no reservatório com água de reuso, o reservatório de 15000 L possa atender-lo, esse foi alocado a um desnível de 20 cm, conforme a Figura 3.

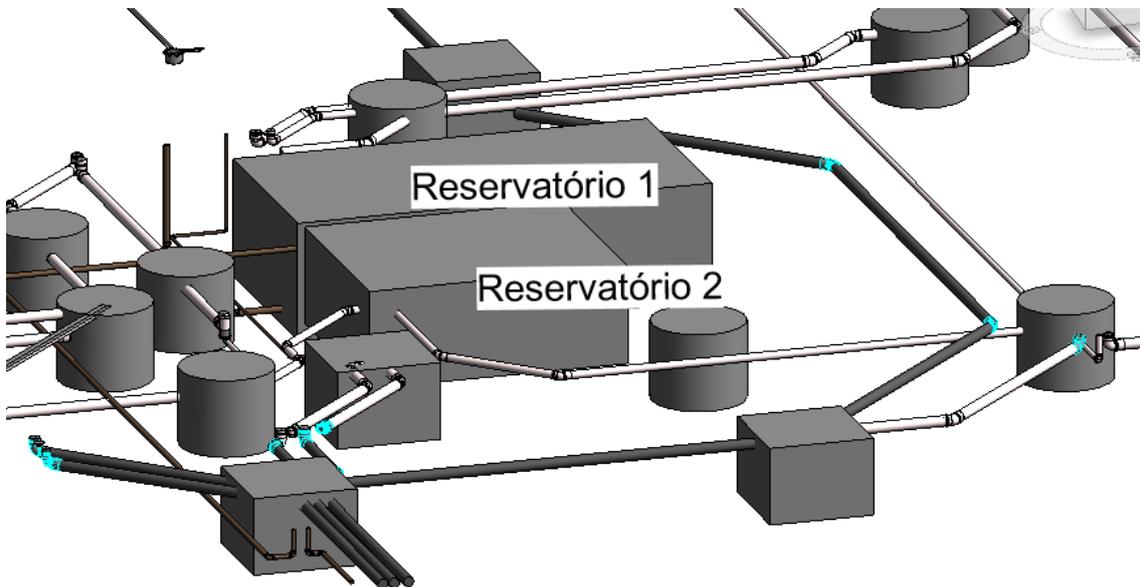
Figura 3 – Desnível entre os reservatórios



Fonte: a partir do Revit® (Autor,2019)

O reservatório inferior de água de reuso (Reservatório 2 da Figura 4), foi posicionado ao lado do reservatório inferior de água potável já existente (Reservatório 1 da Figura 4). A Figura 4 ilustra a locação feita.

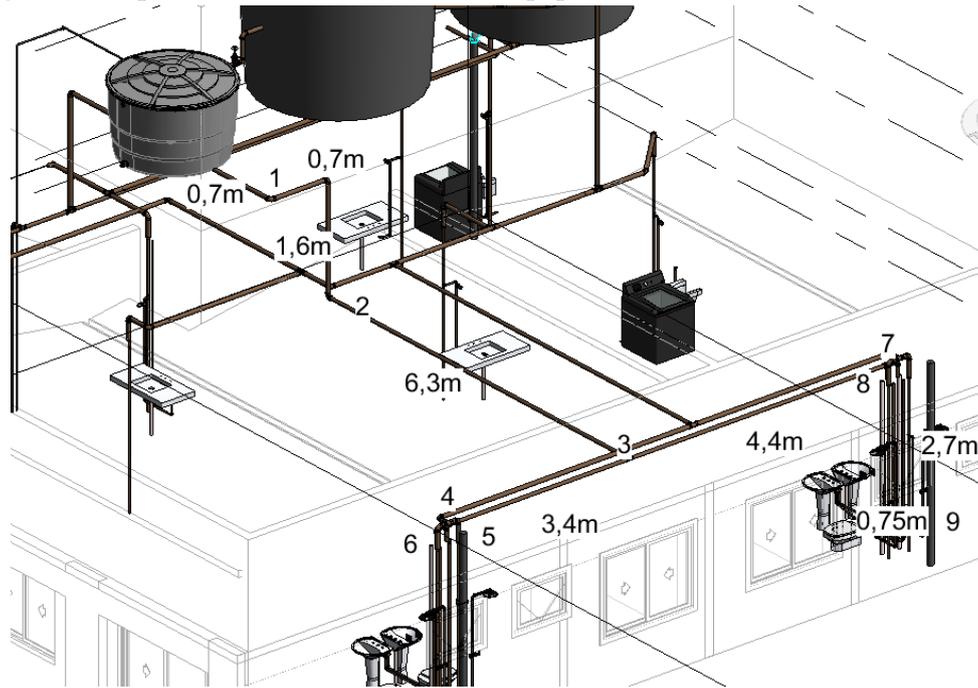
Figura 4 – Locação do reservatório inferior de água não potável



Fonte: Autor (2019)

A partir desses dados, foram dimensionadas as tubulações, de acordo com o Anexo A da ABNT NBR 5626:1998. O desenho dos trechos do reservatório de água não potável até os equipamentos com situação mais desfavoráveis é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Representação do caminho até os equipamentos com situação mais desfavorável.



Fonte: Autor (2019)

Na Tabela 7 apresentam-se os cálculos para dimensionamento das tubulações e conferência dos parâmetros mínimos exigidos pela norma.

Tabela 7 – Dimensionamento da rede de água fria não potável para o banheiro mais desfavorável do último pavimento tipo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	11	12	13	14	15	
Trecho	Soma dos pesos	Vazão estimada	Diâmetro interno	Velocidade	Perda de carga unitária	Diferença de cota desce + sobe -	Pressão disponível	Comprimento da tubulação			(real + equi)	Perda de carga			Pressão disponível residual	Pressão requerida no ponto de utilização
								Real	Equivalente			Tubulação	Registros e outros	Total		
							(14) + 10 x (7)	kPa	m			m	(10) x (6)	kPa		
L/s	mm	m/s	kPa/m	m	kPa	m	m	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa			
7 - 9	32	1,70	35,2	1,74	0,98835	2,7	43	3,2	10,6	13,8	13,6392233	0,4	14,039223	28,960777	> 5	
7 - 8	32	1,70	35,2	1,74	0,98835	2,7	43	3,2	10,6	13,8	13,6392233	0,4	14,039223	28,960777	> 5	
3 - 7	64	2,40	44	1,58	0,628043	0	16	4,4	7,3	11,7	7,34810068	0	7,3481007	8,6518993	> 5	
4 - 5	32	1,70	35,2	1,74	0,98835	2,7	43	3,2	10,6	13,8	13,6392233	0,4	14,039223	28,960777	> 5	
4 - 6	32	1,70	35,2	1,74	0,98835	2,7	43	3,2	10,6	13,8	13,6392233	0,4	14,039223	28,960777	> 5	
3 - 4	64	2,40	44	1,58	0,628043	0	16	3,4	7,6	11	6,90847072	0	6,9084707	9,0915293	> 5	
2 - 3	128	3,39	53,4	1,52	0,459166	0	16	6,3	7,8	14,1	6,47424064	0	6,4742406	9,5257594	> 5	
1 - 2	128	3,39	53,4	1,52	0,459166	1,6	16	3	11,1	14,1	6,47424064	0,9	7,3742406	8,6257594	> 5	

Fonte: Autor (2019)

Após a definição das tubulações de água fria não potável, foram realizados cálculos para a definição das tubulações de recalque e sucção da bomba e para isso, foi considerado que a bomba trabalhará 5 horas por dia. Sendo assim, foi encontrado diâmetro interno mínimo de aproximadamente 12 mm, como este não é usual, foi adotado o diâmetro interno de 21,6 mm (DN 25), para o qual a velocidade da água no trecho não ultrapassa o valor de 3 m/s. O diâmetro de sucção foi considerado igual ao diâmetro comercial adotado para o recalque.

A perda de carga distribuída para o diâmetro encontrado é de 0,076306 m/m. Já para a perda de carga pelo comprimento equivalente na sucção é dado pela Tabela 8.

Tabela 8 – Comprimento equivalente (Leq) de sucção

<b>Comprimento equivalente - Sucção</b>		
	Quantidade	Leq
Válvula de pé com crivo	1	13
RG	1	0,3
<b>Leq</b>		<b>13,3</b>

Fonte: Autor (2019)

Com isso, a perda de carga na sucção, com o comprimento real de 0,50 m, é de 1,0530 m. A perda de carga pelo comprimento equivalente no recalque é dado pela Tabela 9.

Tabela 9 - Comprimento equivalente (Leq) de recalque

<b>Comprimento equivalente - Recalque</b>		
	Quantidade	Leq
Curva 90	3	3,6
Saída canalização	1	0,9
RG	1	0,2
<b>Leq</b>		<b>4,7</b>

Fonte: Autor (2019)

Com isso a perda de carga no recalque, com comprimento real de 28,3 m, é de 2,5181 m.

Somando-se as perdas de carga encontradas e o comprimento de 27,9 m, que deverá ser vencido pela bomba, encontra-se uma altura monométrica de 31,47 m. Portanto, a potência da bomba, com rendimento irreal de 100%, é de 0,1199 cv. Com base nesses dados, foi escolhida a bomba DANCOR CAM W-6C, com os dados presentes na Tabela 10.

Tabela 10 – Tabela de seleção

Modelo		Pot. (cv)	Tubulação		Diâmetro rotor (mm)	AMT max. (mca)	Altura Manométrica Total em metros de Coluna de Água (mca)																				
Monofásico 127 ou 220V	Trifásico 220V/380V		Suc. (bsp)	Elev. (bsp)			Não estão incluídas as perdas por atrito																				
							Vazão (m³/h)																				
							8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
CAM-W6C	CAM-W6	3/4	1"	1"	130,0	32	9,3	9,0	8,6	8,2	7,7	7,1	6,5	5,6	4,5	3,2	1,8	0,8									
		1			136,0	35	9,3	9,0	8,6	8,3	7,9	7,5	7,0	6,4	5,7	4,8	3,8	2,5	1,3	0,4							
		1½*			145,0	42				8,6	8,2	7,7	7,3	6,8	6,3	5,8	5,2	4,6	3,9	3,2	2,4	1,5	0,6				
		2*			156,0	48				8,2	7,9	7,6	7,3	7,0	6,7	6,3	6,0	5,6	5,2	4,7	4,2	3,7	3,1	2,5	1,9	1,3	0,6

\*Monofásico Bivolt: 110/220V

IMPORTANTE: Não utilizar as bombas em alturas inferiores àquelas limitadas pela linha demarcativa, sob o risco de sobrecarga no motor elétrico, ocasionando a perda da GARANTIA.

Fonte: Dancor (2019)

Sendo a capacidade de reserva de 7.000 litros e a bomba funciona durante 5 horas, a vazão da bomba é de 1.400 L/h, ou 1,4 m³/h. Utilizando os valores da altura manométrica, de 31,47 m, e a vazão da bomba, de 1,4 m³/h, a bomba mais indicada, de acordo com a Tabela 11, é a de 1<sup>1/2</sup> cv.

O sistema de coleta foi dimensionado utilizando a Tabela 3, ABNT NBR 8160:1999. Através dessa, foi possível encontrar o diâmetro das tubulações de coleta para o lavatório e o chuveiro, cujo somatório resulta em 3 UHC. A caixa sifonada adotada foi a com saída de 50 mm (3 UHC).

Para o dimensionamento dos tubos de queda, utilizou-se a Tabela 6 da ABNT NBR 8160:1999. Somando os UHC de todos os equipamentos de coleta do edifício, tem-se 106 UHC, divididos em 5 tubos de queda, portanto, cada tubo terá 50 mm de diâmetro.

Por fim, o sistema de tratamento de águas cinzas escolhido foi o do filtro aeróbio submerso com sistema de desinfecção por bombeamento de cloro.

#### 4.4. Orçamento dos projetos

Foi possível fazer a retirada dos quantitativos do próprio *software Revit®* e assim, fazer o orçamento no programa Orçafascio. O *Revit®* possibilitou que o orçamento fosse feito rapidamente, já que não houve a necessidade de retirar os quantitativos visualmente, o próprio *software* gera as tabelas. Logo, a economia de tempo nesta fase foi expressiva.

Ao final, foi encontrado um valor total para a execução do projeto hidrossanitário com reaproveitamento de águas cinzas de R\$ 209.256,34, sem considerar a taxa de Bonificação e Despesas Indiretas (BDI). Foi feito o orçamento do hidrossanitário sem o reaproveitamento de águas, de acordo com o projeto original, R\$ 160.030,51, e ao final os valores dos dois orçamentos foram comparados resultando em um valor da diferença de custos de R\$ 49.225,83.

De acordo com a Tabela 3 do Item 3.3.1 deste trabalho, para o cálculo da demanda da torneira de lavagem, deve-se considerar que essa trabalha somente em 8 dias do mês e para o cálculo da demanda do vaso sanitário considera-se que esse trabalho todos os dias do mês. Assim, para a estimativa de consumo de água de reuso, multiplicou-se por 8 dias o valor do consumo diário, de 6.571,45 L/dia (referente à demanda do vaso sanitário e da torneira de lavagem), e 22 dias por 3.880,8 L/dia (referente à demanda do vaso sanitário) o que resultou no valor de 137949,2 L/mês, ou 137,949 m³/mês.

De acordo com o Portal DMAE, os custos da conta de água são feitos respeitando as tarifas da Tabela 11.

Tabela 11 – Preços pelo consumo mensal de água

<b>I - Categoria Residencial</b>	
Com hidrômetro:	
De 0 a 10 m <sup>3</sup> - tarifa mínima residencial	R\$ 19,01
De 11 a 20 m <sup>3</sup> - preço por m <sup>3</sup> excedente	R\$ 1,46
De 21 a 30 m <sup>3</sup> - preço por m <sup>3</sup> excedente	R\$ 1,67
De 31 a 40 m <sup>3</sup> - preço por m <sup>3</sup> excedente	R\$ 2,30
De 41 a 50 m <sup>3</sup> - preço por m <sup>3</sup> excedente	R\$ 3,97
Acima de 50 m <sup>3</sup> - Preço por m <sup>3</sup> excedente	R\$ 4,95

Fonte: Adaptado de Portal DMAE Uberlândia-MG (2019)

A taxa total para o consumo de água a ser paga por mês seria de:

$$R\$ 19,01 + (R\$ 1,46 \cdot 10) + (R\$ 1,67 \cdot 10) + (R\$ 2,30 \cdot 10) + (R\$ 3,97 \cdot 10) + (R\$ 4,95 \cdot 87,949) = R\$ 531,66$$

Logo, para a estimativa do período de retorno do sistema, desprezando os gastos com a energia gasta pelas bombas e os gastos com manutenção do sistema de reuso, tem-se economia anual de R\$6.379,89.

Para a definição do período de retorno, foi considerado a aplicação de taxa de juros sobre o valor anual economizado como um fator de redução para que a parcela anual corresponda ao tempo presente e também aplicação de reajuste anual da tarifa de água de igual valor, que age como fator de aumento do preço da tarifa. Assim, aplicando simultaneamente as taxas, elas se anulam. Logo, o cálculo resultará em uma simples divisão do valor do investimento do sistema de reuso sobre o valor da parcela de economia anual. O período de retorno então é de aproximadamente 7,7 anos.

Os estudos de caso demonstrados no item 2.3 deste trabalho, apresentam resultados distintos, um de 4,5 anos para um edifício de quinze pavimentos, que apresenta abastecimento da água de reuso para vaso sanitário, torneiras para lavagem de áreas externas, máquina de lavar roupas e tanque, e outro de 9,95 anos para uma edificação de dois pavimentos, onde somente o vaso sanitário e torneiras para lavagem de áreas externas são abastecidos pela água de reuso. Esperava-se que o tempo de retorno resultante deste trabalho estivesse entre os valores dos estudos apresentados. De acordo com o estudo feito, o período de retorno é 7,7 anos, o que se leva a acreditar que o retorno do investimento está ligado à altura da edificação. Ou seja, quanto maior a edificação, menor o tempo de retorno, possivelmente pelo fato de que, ao aumentar a altura da edificação tem-se, em um mesmo padrão, mais apartamentos, com conseqüente maior quantidade de aparelhos sanitários possíveis de serem alimentados pelo sistema de reuso de águas cinzas.

Segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15.575:2013, a vida útil de um sistema hidrossanitário é de no mínimo 20 anos. O período de retorno de 7,7 anos representa então 38,5% do tempo mínimo da edificação, nos outros 12,3 anos a edificação lucrará com o sistema. Para o cálculo do lucro que a edificação teria em 12,3 anos, faz-se R\$ 6.379,89 (valor da economia de consumo de água por ano), multiplicado por 12,3 anos, que resulta em R\$ 78.472,65 de lucro. Esse valor comparado ou valor investido, de R\$ 49.225,83, mostra que em 20 anos, a edificação se paga e ainda resulta em um lucro de R\$ 29.246,82. Logo, a aplicação deste sistema é viável economicamente.

Durante os 20 anos de vida útil mínima da edificação, o potencial de economia de água seria de: 137.949,2 L/mês x 12 meses/ano x 20 anos = 33.107.808,00 L de água. É notável a importância de adotar esse sistema nas novas construções, pois a economia de água é significativa, podendo, em grande escala, resultar em preservação dos mananciais de água, por meio da redução

do lançamento de rejeitos, colaborando significativamente para a redução dos impactos causados pela construção civil ao meio ambiente.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de se implantar um sistema de reutilização de águas cinzas em um edifício residencial multifamiliar habitado por 126 pessoas. Os custos com manutenção e gastos energéticos foram desprezados. A análise dos resultados apresentou tempo de retorno para a implantação desse sistema de aproximadamente 7,7 anos. Como nesse estudo, o fornecimento de água de reuso foi limitado às bacias sanitárias e torneiras de lavagem, o tempo de retorno tem potencial de redução, caso essa água seja considerada também para abastecimento da máquina de lavar roupas e tanque.

A qualidade da água tratada limita sua utilização. Assim, é importante que os usuários sejam orientados sobre os riscos da utilização das águas cinzas tratadas para consumo humano. É preciso ter um cuidado especial com os visitantes da edificação, informando-os sobre o sistema de reuso, através de placas sinalizadoras de aviso. Para a implantação desse tipo de sistema também é importante conscientizar a sociedade civil para despertar maior responsabilidade na gestão de recursos hídricos no Brasil. A possibilidade de preservar um recurso cada vez mais escasso não deve ser tratado apenas no ponto de vista econômico.

O resultado deste trabalho mostra a viabilidade de se adotar o reuso de águas cinzas em edificações e o potencial de economia de água. Por isso é importante criar leis municipais e estaduais que tornem obrigatório a utilização deste sistema. Já existe um movimento de conscientização pós políticas de racionamento, que surgiu depois das crises hídricas de 2014 e 2015, com leis municipais e estaduais para o reuso de água da chuva em várias cidades, como Brasília e São Paulo já citadas nesse trabalho. O reaproveitamento de águas cinzas também deverá ser alvo dessas políticas em um futuro próximo.

As normas sobre instalações prediais de água fria e de esgoto sanitário são antigas e não possuem adaptação para sistemas de reuso. Assim, é importante a atualização das normas pelos órgãos competentes, a fim de instruir melhor os profissionais da área.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626:** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160:** Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edificações habitacionais – Desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969:** Tanques sépticos – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1997.

ABREU, C. G. S., **Eficiência energética em edificações: o caso dos prédios públicos existentes.** In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção, Fortaleza, 2015.

ADASA. Níveis dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/>. Acesso em: 16 de julho de 2019.

ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R. S. D.; OLIVEIRA, L. V.; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimentos de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). LOD Specification 2015.

AZEVEDO, Orlando J. M. de. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na direção técnica de obras**. (Mestrado em Engenharia Civil, Reabilitação, Sustentabilidade e Materiais de Construção). Escola de Engenharia, Universidade do Minho. 2009.

AZHAR, S.; CARLTON, W. A.; OLSEN, D.; AHMAD, I. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011.

BAZZARELLA, B. B. (2005) - Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BRAGA, B.; KELMAN, J. **Facing the challenge of extreme climate: the case of Metropolitan São Paulo**. Revista Water Policy, v. 18, n. S2, p. 52-69, 2016.

CARDIA, N. et ALUCCI, M.P. (1998) Campanhas de educação pública voltadas à economia de água **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA**. Documento Técnico de Apoio DTA - B2. Ministério do Planejamento e Orçamento / Secretaria Nacional de Política Urbana. PNCDA, Brasília.

DECA. Uso racional de água. Disponível em: < <http://www.deca.com.br/> >. Acesso em: 23 nov. 2005.

DISTRITO FEDERAL. Governo do Distrito Federal. Lei nº 4.671, de 10 de novembro de 2011. **Diário Oficial do Distrito Federal**, Brasília, v.43, n.218, p.1, 2011.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. Lei nº 16.174, de 22 de abril de 2015. Prefeitura de São Paulo.

EASTMAN, C. et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **Bim handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.

FERREIRA, Sérgio Leal. Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DE PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 7., 2007, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba, UFPR, 2007.

FUNDAÇÃO VANZOLINI: Certificação AQUA-HQE em detalhes. Disponível em <<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-em-detalhes/>>. Acesso em: 28 de junho de 2019.

GONCALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

GRAF, H.F.; MARCOS, M.H.C.; TAVARES, S.F.; SCHEER, S. **Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO2 incorporado**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... Juiz de Fora, 2012.

IBNET – International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities. **Parâmetros Internacionais para Redes de Operadoras de Saneamento**, 2011.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reúso de água cinza e aproveitamento de águas pluviais em edificações. 2009. Dissertação de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MANZIONE, L. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

MIKALDO JR, Jorge. SCHEER, Sérgio. Compatibilização de projetos em 3D como indicativo de redução de custo em edificações. Artigo Científico, UFPR. Curitiba, 2007.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº54, de 28 de novembro de 2005. **Conjunto de normas legais: recursos hídricos**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 7 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011b. 260p.

OLIVEIRA, Lucia Helena De e colab. **Levantamento do estado da arte: Água**. Projeto Finep: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável, São Paulo, 2007.

Portal DMAE de Uberlândia-MG. DECRETO Nº 17.914, DE 11 DE JANEIRO DE 2019. Disponível em <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/21504.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/21504.pdf)>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

ROCHA, A.L. (1990). **Estudo para identificação e avaliação de parâmetros de projeto de bacias sanitárias de ação sifônica tendo em vista a redução do consumo de água**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo (não publicada).

SABOL, L. **Challenges in cost estimating with Building Information Modeling**. IFMA World Workplace. 2008.

SANT'ANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P.; ALVARES, K. C. F.; **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações**. Relatório técnico apresentado para ADASA; Convênio ADASA/Universidade de Brasília. Brasília, 2017.

SANTOS, Wendel P. **Avaliação da viabilidade econômica do reúso de águas cinzas em edificações domiciliares**. 2008. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SELLA, M. B.; **Reuso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências**. Porto Alegre, 2011.

SINDUSCON. **Conservação e reúso de águas em edificações**. São Paulo. Editora gráfica 2005.

TSUTIYA, M. (2005). Abastecimento de água. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4 for Building Design and Construction**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>>.

VASCONCELOS, Tiago M. N. R. F. de. **Solução para os principais atrasos e desperdícios na construção portuguesa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 2010.

WONG, J.K.W.; ZHOU, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: a review. **Automation in Construction**, v. 57, p. 156-165, 2015.