



Indicadores de consumo de água e análise comparativa entre o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações de ensino do Campus Darcy Ribeiro - UnB

BARBOSA, Guilherme Gomes¹
BEZERRA, Samira Pinho²
SANT'ANA, Daniel³

¹Secretaria de Infraestrutura, Universidade de Brasília, guilhermeg.barbosa@hotmail.com

²Grupo Água & Ambiente Construído, Universidade de Brasília, samirapinhob@gmail.com

³Grupo Água & Ambiente Construído, Universidade de Brasília, dsantana@unb.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo caracterizar os usos-finais de água em edificações de ensino superior do Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília e, com isso, realizar uma análise comparativa do desempenho de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e de reúso de águas cinzas (RAC). Para tanto, o estudo se dividiu em três etapas. Na primeira etapa, indicadores de consumo predial foram gerados com base no consumo faturado, área construída e população de cada edificação analisada. Usos-finais de água foram estimados por meio de questionários e entrevistas semiestruturadas. Na segunda etapa, foram realizadas uma série de simulações para verificar a economia de água para diferentes sistemas AAP e RAC baseando-se em três cenários de usos não potáveis: i) Irrigação e lavagem de pisos (Cenário 1); ii) Descarga sanitária (Cenário 2); e iii) Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Cenário 3). Na terceira etapa, foi realizada uma análise comparativa do desempenho dos sistemas na redução do consumo de água. Os resultados mostraram que, para o Cenário 1, ambos os sistemas conseguem suprir toda a demanda de água. Porém, a maioria dos sistemas não são capazes suprir toda a demanda dos Cenários 2 e 3. Em geral, o aproveitamento de águas pluviais apresentou um melhor desempenho, promovendo economia de 137 a 19.510 m³/ano, dependendo da grandeza da edificação.

Palavras-Chave: Usos-Finais de Água, Indicadores de Consumo de Água, Aproveitamento de Águas Pluviais, Reúso de Águas Cinzas, Edificações de Ensino.

Abstract

This work has characterized the end-uses of water of higher education buildings in Darcy Ribeiro Campus - University of Brasília and with this, a comparative analysis of the performance of rainwater harvesting (RWH) and greywater reuse (GWR) systems for non-potable uses was made. The study was divided into three stages. In the first stage, water consumption indicators were generated based on billed water consumption, built area and population for each building analyzed. Water end-uses for toilet flushing, lavatories, drinking fountains, floor washing and irrigation were estimated through the use of questionnaires (directed to students, teachers and employees) and structured interviews (to managers and maintenance teams). In the second stage, a series of simulations were carried out to verify water savings for different RWH and GWR systems based on three non-potable scenarios: i) Irrigation and floor washing (Scenario 1); ii) Toilet flushing (Scenario 2); and iii) Irrigation, floor washing and toilet flushing (Scenario 3). In the final stage, a comparative analysis of the performance, based on water reductions was carried out. Results showed that for the first scenario, both systems are capable of supplying water demand. However, most systems were not capable of fully supplying water demand for Scenarios 2 and 3. In general, rainwater harvesting stood out as the best option, promoting higher water savings ranging from 137 to 19,510 m³/year, depending on the size of the building.

Key-Words: Water End-Uses, Water Consumption Indicators, Rainwater Harvesting, Greywater Reuse, Education Buildings.

1. Introdução

Diversas variáveis influenciam o uso de água em edificações (SANT'ANA, 2015). Algumas delas incluem o tipo de edificação e suas atividades, hábitos de consumo dos usuários, clima, preço da água e esgoto, e o estado de conservação de aparelhos sanitários. Fasola *et al.* (2011) conduziram um estudo de economia de água em duas escolas de ensino fundamental da cidade de Florianópolis. Dentre as estratégias de racionalização, os autores estudaram a possibilidade de aplicar-se o aproveitamento de água pluvial e reúso de águas cinzas para fins não potáveis, e também a utilização de aparelhos economizadores de água, como torneiras com sensores de presença e descargas duais (com opção de 3 ou 6 litros por fluxo). Os resultados mostraram um potencial de economia para as escolas, denominadas municipal e estadual, respectivamente de: 22,9% e 42,5%, aplicando-se o aproveitamento de água pluvial; 5,1% e 4,2% aplicando-se o reúso de águas cinzas; 15,3% e 55,9%, com a instalação de equipamentos economizadores; 24,0% e 46,3%, para a combinação de aproveitamento e reúso; e 27,8% e 72,7%, para a combinação de equipamentos economizadores e de aproveitamento. O consumo de água foi estimado em 25,3 e 28,8 litros por pessoa por dia, respectivamente.

Marinoski e Ghisi (2008) realizaram um estudo de viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para o Centro de Tecnologia em Automação e Informática, instituição de ensino que pertence ao SENAI de Santa Catarina, localizado na cidade de Florianópolis. Por meio da estimativa dos usos finais de água, foi obtido um potencial de economia de água de 63,5%. Com base no uso do programa Netuno, os autores dimensionaram reservatórios superiores e inferiores, e estimaram o custo de implantação e de operação das instalações, compostas por reservatórios pré-fabricados de fibra de vidro, conjuntos moto bomba, filtro e tubulações. A implantação foi orçada em R\$17.615,56 e o custo mensal em R\$ 5,88. O resultado final indicou uma economia de R\$ 407,77 ao mês, equivalente a 92,17 m³ de água, tendo um *payback* de 4 anos e 10 meses.

Ywashima (2005) realizou visitas de campo em 87 escolas da rede pública da cidade de Campinas-SP, com objetivo de caracterizar os usos de água, avaliar o estado de conservação das instalações hidráulicas e dos aparelhos sanitários, e demonstrar estatisticamente a percepção dos usuários sobre o uso racional da água. Também na cidade de Campinas, Gonçalves *et al.* (2005) realizaram um estudo sobre o consumo de água em escolas de ensino fundamental e médio. Foram vistoriados os pontos de utilização de água e hidrômetros para identificar os vazamentos existentes, bem como foram entrevistados alunos e demais usuários das edificações para ser estimado o consumo per capita. Com o auxílio de dispositivos digitais capazes de mensurar a vazão de água, e de armazenar esta informação em bancos de dados, os autores puderam avaliar o impacto de intervenções mitigadoras de vazamentos. Obtiveram-se reduções entre 5,3% e 86,8% no consumo de água das escolas estudadas, devido a tais intervenções.

No Distrito Federal, Sant'Anna *et al.* (2013) realizaram um diagnóstico do consumo de água em uma escola pública de ensino fundamental em Brasília, caracterizando os seus usos-finais de água. Em geral, o estudo desagrega os resultados de consumo predial e faz uma análise dos usos-finais do consumo adulto e infantil, da cozinha e das torneiras de jardim, apresentando dados primários em diferentes indicadores para aplicação na avaliação do desempenho de diferentes estratégias conservadoras de água em escolas. Em outro estudo, Santana e Sant'Ana (2017) analisaram o potencial de reduções no consumo de água de equipamentos economizadores de água e aproveitamento de água pluvial em um Centro Educacional de ensino médio no Guará. Resultados sugerem um potencial de redução do consumo de água de até 78,8% pelo conserto de vazamentos e uso de equipamentos economizadores de água. Ao aproveitar águas pluviais em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária, reduções do consumo de água potável podem chegar a 287m³/ano.

No que se diz respeito a edificações destinadas ao ensino superior, Silva et al. (2008) propõem uma

metodologia de implementação de programas de uso racional da água (PURA) em campi universitários. Tais programas consistiram na redução de perdas físicas de água, redução do consumo nos pontos de utilização, na caracterização de hábitos e racionalização de atividades que consomem água. O PURA da Universidade de São Paulo obteve uma redução de 36% no consumo de água em um período de cinco anos. Fonini *et al.* (2004) realizaram um estudo para implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas para o prédio da piscina universitária do Campus II da Universidade de Passo Fundo-RS. Foi concluído que o volume mensal de águas pluviais com possibilidade de aproveitamento na piscina, girava em torno de 186 m³/mês, e que as duchas do local seriam capazes de fornecer um montante de 106 m³/mês para o reúso em descargas de caixa acoplada e na higienização de ambientes.

Observa-se uma carência de estudos acerca da caracterização dos usos finais em edificações de ensino superior, e a análise comparativa do desempenho de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e reúso de águas cinzas (RAC). O objetivo deste trabalho foi caracterizar os usos-finais de água em uma instituição de ensino superior e, com isso, realizar um estudo comparativo do desempenho de sistemas voltados ao aproveitamento de água pluvial com sistemas de reúso de águas cinzas.

2. Procedimento Metodológico

Para alcançar o objetivo traçado, este estudo se dividiu em três etapas: i) caracterização dos usos-finais de água; ii) simulação da economia de água para sistemas AAP e RAC; iii) análise comparativa do desempenho dos sistemas. Este estudo de caso foi realizado no Campus Universitário Darcy Ribeiro, da Universidade de Brasília (UnB), pela facilidade de obtenção de dados e acesso às edificações. A UnB é uma instituição de ensino superior do governo federal fundada em 1962. Atualmente a essa Universidade é composta por quatro campi: o campus Universitário Darcy Ribeiro, que possui cursos em diversas áreas do conhecimento; a Faculdade de Ceilândia, destinada a cursos na área de saúde; a Faculdade de Planaltina, responsável por cursos de graduação nas áreas do meio ambiente e do agro negócio; a Faculdade do Gama, destinada a cursos de engenharia e de tecnologia.

O estudo foi realizado em dez edifícios de ensino, que podem conter salas de aula, laboratórios, salas de professores, auditórios e ambientes molhados, como banheiros e copas. Todas as edificações selecionadas pertencem ao Campus Universitário Darcy Ribeiro. Não foram considerados prédios com características administrativas, como escritórios, ou de apoio, como restaurantes e comércios. Cada edifício de ensino pode abrigar um ou mais cursos de graduação. Há também edifícios que não abrigam a totalidade de um curso de graduação e outros compostos por várias salas de aula, sem destinação para qualquer faculdade em específico.

Para este estudo foram levantados dados como o consumo predial de água de cada edifício, as populações e as áreas construídas e de cobertura, para caracterizar o consumo de água nos edifícios. O consumo predial de água foi levantado por meio do histórico de faturas de água para o período de 2013 a 2017. Os dados foram disponibilizados pela Prefeitura do Campus (PRC). As tarifas são cobradas mensalmente, e a medição é realizada em metros cúbicos (m³). As populações dos edifícios foram obtidas consultando estatísticas de setores administrativos da Universidade. O número de servidores (técnicos administrativos e professores) foi obtido para cada faculdade através de relatório estatístico do Decanato de Gestão de Pessoas. O número de alunos matriculados em cada curso foi obtido por meio do Anuário Estatístico da UnB de 2018. A quantidade de trabalhadores terceirizados foi obtida em consulta a PRC. As populações de cada edifício foram obtidas agrupando os alunos e servidores de cada curso abrigado pela edificação, somados às equipes de terceirizados. As áreas dos edifícios foram obtidas utilizando-se plantas baixas fornecidas pelo Centro de Planejamento Oscar Niemeyer (CEPLAN), órgão responsável pelo planejamento do espaço físico da Universidade. Com isso, foi possível gerar os indicadores de consumo per capita, em litros por pessoa por dia ($l/p/d$), e *per area*, em litros por área construída por dia ($l/m^2/d$).

Os usos finais de água foram levantados por meio de questionários, aplicados a alunos, professores e funcionários. Tais questionários foram aplicados por alunos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB. Os entrevistados foram levados a responder perguntas sobre quantas vezes por dia utilizam os equipamentos hidrossanitários (lavatórios, bacias sanitárias e bebedouros), e quanto tempo dura cada uso. O cálculo dos indicadores de consumo e da demanda de água por uso, foram feitos de acordo com as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$I' = F \times t \times q \quad (1)$$

Onde:

I' = Indicador de consumo *per capita* (L/p/d)

F = Frequência média de uso (vezes ao dia)

t = Tempo (s)

q = Vazão do equipamento (L/s)

$$D' = I' \times P_{tot} \quad (2)$$

Onde:

D' = Demanda diária (L/d)

P_{tot} = População total do edifício

Também foi necessário estimar o uso de água com limpeza e irrigação de jardins dos edifícios. Para isso foram realizadas entrevistas direcionadas com os profissionais destas áreas, responsáveis pela zeladoria de cada edificação. Perguntou-se aos entrevistados como era realizada a limpeza dos diversos ambientes, e como era feita a irrigação dos jardins (quando era o caso), buscando-se entender a quantidade de água utilizada em cada atividade. As informações foram transferidas para planilhas que calcularam os indicadores de consumo para limpeza e irrigação, dados em litros por metro quadrado por dia de uso. O cálculo dos indicadores e da demanda de água por uso, foram feitos de acordo com as equações 3 e 4, respectivamente.

$$I'' = F \times \frac{V}{A} \quad (3)$$

Onde:

I'' = Indicador de consumo *per area* (l/m²/d)

F = Frequência média de lavagem (vezes ao dia do uso)

V = Volume de água utilizado para limpar ou irrigar determinada área (l/d)

A = área limpa ou irrigada (m²)

$$D'' = I'' \times A_{tot} \quad (4)$$

Onde:

D'' = demanda diária (l/d)

A_{tot} = Área total de limpeza ou irrigação

Também foi necessário estimar a vazão dos diversos aparelhos sanitários e as perdas diárias de água dos edifícios. Para tanto, foram realizadas vistorias nos locais. Utilizando-se recipientes graduados ou com volumes previamente determinados e cronômetros, a vazão foi calculada pelo tempo que os aparelhos enchiam o recipiente, em litros por segundo (l/s). Este método foi utilizado para torneiras de lavatórios, de copas, e de jardins, e bebedouros. O volume de descarga em bacias sanitárias foi identificado de acordo com o modelo do vaso, de 6 ou 9 litros por fluxo de descarga (*lpf*), e para mictórios considerou-se 3 litros por fluxo de descarga.

A perda de água foi estimada por meio de leituras dos hidrômetros dos edifícios realizadas nos dias 12/10/2018 a 15/10/2018. Para os dias 12, 13 e 14, a leitura foi realizada por volta de meio dia, e no dia 15 por volta das sete da manhã. Por ser um final de semana com feriado, o movimento da Universidade diminui sensivelmente, assim, entende-se que o consumo registrado é majoritariamente composto por perdas de água. O valor horário de perdas foi calculado dividindo-se a diferença dos

volumes registrados pelo tempo transcorrido entre uma leitura e outra. A perda diária foi estimada multiplicando-se a perda de água horária por 24 horas. Por fim, foi realizada a média das perdas diárias registradas.

Em posse dos indicadores de consumo, das áreas e da população das edificações, o consumo de água para cada atividade pode ser calculado, multiplicando-se os indicadores $l/m^2/d$ pela frequência mensal de limpeza e de irrigação, e dos indicadores $l/p/d$ pela frequência mensal de alunos, professores e demais funcionários. Após a obtenção dos dados de consumo, foi necessário realizar uma análise de sensibilidade. Este processo consistiu em gerar um fator de correção através da divisão do volume de água faturado do edifício pelo consumo de água estimado pelos questionários, entrevistas e planilhas. Em seguida, multiplicou-se este fator de correção pelo consumo estimado em cada aparelho ou para cada atividade. Quanto mais próximo de 1,00 for o valor do fator de correção calculado, mais próximas da realidade estão às estimativas do consumo de água. A discrepância é a diferença entre o consumo estimado e o faturado, e indica o erro contido nestas estimativas. Tais erros provêm de vários fatores, tais como: valores equivocados da população do edifício, respostas incoerentes aos questionários, erros na medição da vazão dos aparelhos sanitários, insuficiência de dados históricos de consumo de água do prédio, entre outros. Por fim, o dimensionamento de cisternas para captação de águas pluviais foi realizado pelo método de simulação (ABNT, 2007), considerando a oferta de água pluvial dada pela Equação 5.

$$Q = PP \times A_{cob} \times C_e \times C_f \quad (5)$$

Onde:

Q = Oferta de águas pluviais (l)

PP = Precipitação média (mm)

A_{cob} = Área de captação de águas pluviais (m^2)

C_e = Coeficiente de escoamento

C_f = Coeficiente de filtragem

A área de captação de águas pluviais foi calculada com base na capacidade dos filtros de águas pluviais. Atualmente há filtros no mercado capazes de filtrar a água de chuva de variadas dimensões de cobertura. O presente estudo adotou como áreas de captação 200m² e 500m², bem como múltiplos e/ou combinações destes valores, para aproximar-se da realidade do que poderia ser executado. A área de captação ideal é dada pela Equação 6.

$$A_{ideal} = \frac{D}{PP \times C_e \times C_f} \quad (6)$$

Onde:

A_{ideal} = Área de captação ideal (m^2)

D = Demanda de águas pluviais (l)

As demandas de água para o sistema de aproveitamento de águas pluviais foram estimadas com base em três cenários. O Cenário 1 refere-se ao uso de água para limpeza dos ambientes e irrigação de jardins; o Cenário 2 para o uso em descargas sanitárias; O Cenário 3 é a demanda combinada dos Cenários 1 e 2. Quanto ao reúso de águas cinzas, adotou-se como oferta a água proveniente de lavatórios e, como demandas, os usos de água previstos nos três cenários. A economia de água por reúso de águas cinzas foi obtida pela multiplicação das ofertas e demandas (l/d) por 240 dias, considerando uma média de 20 dias de uso de água por mês. Os valores obtidos foram comparados, e adotou-se como economia o menor valor entre a oferta e a demanda.

3. Resultados

A Tabela 1 apresenta dados dos edifícios estudados: nome, sigla, área construída e população estimada. O Instituto Central de Ciências é dividido em três alas (sul, centro e norte), este estudo abrangeu as alas norte e sul. A população apresentada na tabela refere-se à população estimada total do prédio. No que se refere ao consumo de água faturado, observou-se que há uma tendência de

redução das medições para os meses de março e dezembro, e entre os meses de junho e agosto na maioria dos edifícios estudados. Isso pode ser explicado, em parte, pelo início das férias dos alunos. A Figura 1 mostra o consumo de água mensal médio do ICC ao longo do ano. A Figura 2 traz a mesma informação para os demais edifícios.

Tabela 1. Edifícios Analisados

Edifício	Sigla	Área Construída	População
Bloco de Salas de Aula Sul	BSAS	7.360,38 m ²	1.683
Faculdade de Direito	FD	5.744,93 m ²	1.297
Faculdade de Educação 5	FE5	2.430,59 m ²	389
Faculdade de Tecnologia	FT	13.583,65 m ²	2.948
Instituto de Biologia	IB	22.076,85 m ²	1.462
Instituto Central de Ciências (Norte)	ICC-Norte	32.287,83 m ²	8.984
Instituto Central de Ciências (Sul)	ICC-Sul	32.287,83 m ²	8.984
Serviços Gerais 1/Instituto de Artes	SG1	2.746,57 m ²	284
Ciências Políticas/ Relações Internacionais	IPOL-IREL	5.413,95 m ²	928
Pavilhão João Calmon	PJC	2.925,68 m ²	818
Serviços Gerais 12	SG12	5.469,99 m ²	225

Figura 1. Gráfico de consumo mensal médio para o ICC

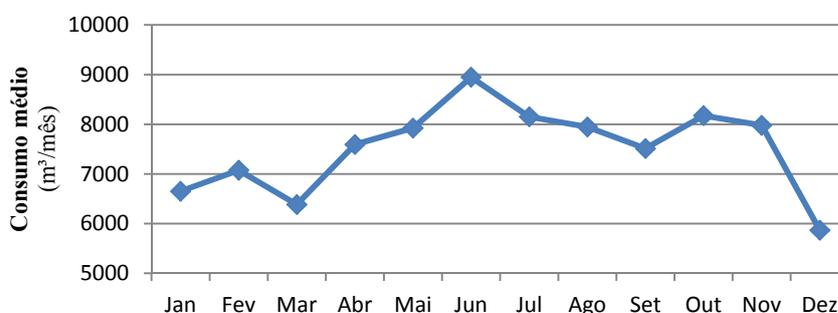
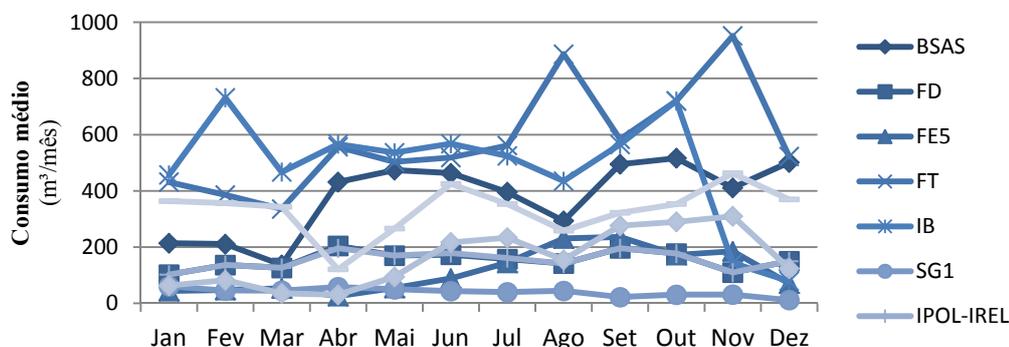


Figura 2. Gráfico de consumo mensal médio para os demais edifícios

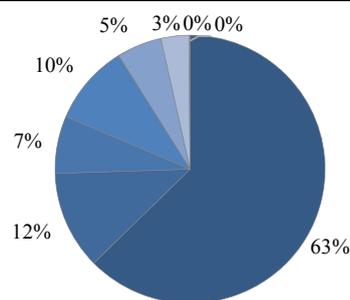


Os Quadros 1 a 10 mostram o consumo médio anual e mensal, consumo per capita e per área, e o cálculo dos indicadores de consumo, dos fatores de correção, das discrepâncias, da demanda estimada e corrigida. Os indicadores de consumo de descargas sanitárias e de lavatórios fora calculados com base na frequência de uso média respondida pelos entrevistados e pela vazão média das bacias sanitárias e das torneiras inspecionadas de cada edifício. As lavagens tipo 1, 2 e 3 referem-se, respectivamente a lavagem de: ambientes internos; corredores de circulação interna; corredores de circulação externa. Em cada quadro, I_{est} é o indicador de consumo para determinado uso-final de água, D_{est} é a demanda estimada do respectivo uso-final, enquanto I_{cor} e D_{cor} são os índices e demandas corrigidos. Para a maioria dos edifícios estudados, o uso-final de água em descargas sanitárias é o uso de maior demanda, com exceção do IPOL/IREL, cujo uso-final mais expressivo foi o uso em lavatórios, e o SG12 cujo vazamento representou 51% da demanda de água.

Quadro 1. Indicadores de Consumo BSAS

Bloco de Salas de Aula Sul (BSAS)

Consumo Anual	4541,67 m ³ /ano
Consumo Diário	12442,92 l/d
Consumo <i>Per Capita</i>	7,39 l/p/d
Consumo <i>Per Area</i>	1,69 l/m ² /d
Consumo Estimado	36162,40 l/d
Consumo Faturado	12442,92 l/d
Fator de Correção	0,34
Discrepância	65,59%

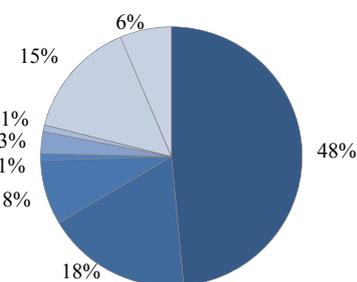


Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	13,46 l/p/d	22653,18 l/d	4,63 l/p/d	7794,61 l/d
Lavatório	2,54 l/p/d	4282,40 l/d	0,88 l/p/d	1473,51 l/d
Bebedouro	1,49 l/p/d	2513,57 l/d	0,51 l/p/d	864,88 l/d
Lavagem Tipo 1	1,05 l/m ² /d	3504,88 l/d	0,36 l/m ² /d	1205,97 l/d
Lavagem Tipo 2	0,90 l/m ² /d	1953,55 l/d	0,31 l/m ² /d	672,19 l/d
Lavagem Tipo 3	6,02 l/m ² /d	1204,82 l/d	2,07 l/m ² /d	414,56 l/d
Torneira de Jardim	0,72 l/m ² /d	50,00 l/d	0,25 l/m ² /d	17,20 l/d
Vazamento	0,00 l/m ² /d	0,00 l/d	0,00 l/m ² /d	0,00 l/d

Quadro 2. Indicadores de Consumo FD

Faculdade de Direito (FD)

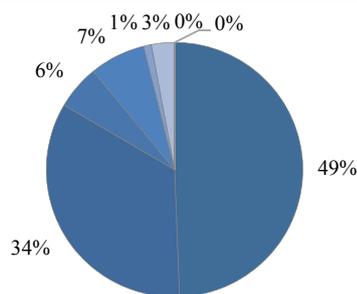
Consumo Anual	1842,67 m ³ /ano
Consumo Diário	5048,40 l/d
Consumo <i>Per Capita</i>	3,89 l/p/d
Consumo <i>Per Area</i>	0,88 l/m ² /d
Consumo Estimado	18338,44 l/d
Consumo Faturado	5048,40 l/d
Fator de Correção	0,28
Discrepância	72,47%



Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	6,86 l/p/d	8894 l/d	1,89 l/p/d	2448 l/d
Lavatório	2,54 l/p/d	3293 l/d	0,70 l/p/d	907 l/d
Bebedouro	1,14 l/p/d	1482 l/d	0,31 l/p/d	408 l/d
Lavagem Tipo 1	0,09 l/m ² /d	151 l/d	0,03 l/m ² /d	42 l/d
Lavagem Tipo 2	0,21 l/m ² /d	500 l/d	0,06 l/m ² /d	138 l/d
Lavagem Tipo 3	1,07 l/m ² /d	151 l/d	0,29 l/m ² /d	42 l/d
Torneira de Jardim	4,28 l/m ² /d	2700 l/d	1,18 l/m ² /d	743 l/d
Vazamento	0,20 l/m ² /d	1167 l/d	0,06 l/m ² /d	321 l/d

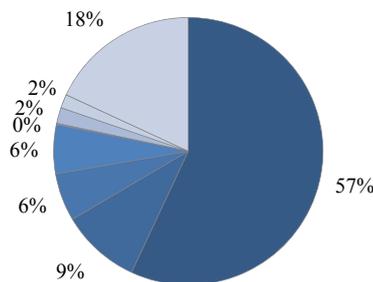
Quadro 3. Indicadores de Consumo FE 5

Faculdade de Educação 5 (FE 5)				
Consumo Anual	1351,42 m ³ /ano			
Consumo Diário	3702,51 l/d			
Consumo Per Capita	9,57 l/p/d			
Consumo Per Area	1,52 l/m ² /			
Consumo Estimado	10126,09 l/d			
Consumo Faturado	3702,51 l/d			
Fator de Correção	0,37			
Discrepância	63,44%			
Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	12,93 l/p/d	5002 l/d	4,73 l/p/d	1829 l/d
Lavatório	8,92 l/p/d	3450 l/d	3,26 l/p/d	1262 l/d
Bebedouro	1,46 l/p/d	566 l/d	0,54 l/p/d	207 l/d
Lavagem Tipo 1	0,85 l/m ² /d	714 l/d	0,31 l/m ² /d	261 l/d
Lavagem Tipo 2	0,22 l/m ² /d	100 l/d	0,08 l/m ² /d	37 l/d
Lavagem Tipo 3	4,82 l/m ² /d	293 l/d	1,76 l/m ² /d	107 l/d
Torneira de Jardim	0,00 l/m ² /d	0 l/d	0,00 l/m ² /d	0 l/d
Vazamento	0,00 l/m ² /d	0 l/d	0,00 l/m ² /d	0 l/d



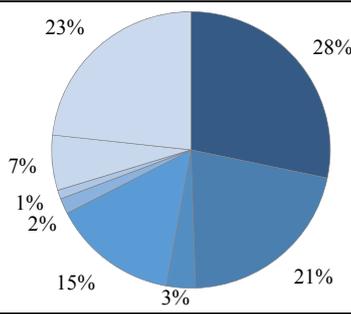
Quadro 4. Indicadores de Consumo FT

Faculdade de Tecnologia (FT)				
Consumo Anual	6955,50 m ³ /ano			
Consumo Diário	19056,16 l/d			
Consumo Per Capita	6,46 l/p/d			
Consumo Per Area	1,40 l/m ² /d			
Consumo Estimado	70046,03 l/d			
Consumo Faturado	19056,16 l/d			
Fator de Correção	0,27			
Discrepância	72,79%			
Uso-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	13,51 l/p/d	39876 l/d	3,68 l/p/d	10848 l/d
Lavatório	2,27 l/p/d	6696 l/d	0,62 l/p/d	1822 l/d
Bebedouro	1,37 l/p/d	4047 l/d	0,37 l/p/d	1101 l/d
Lavagem Tipo 1	0,41 l/m ² /d	4156 l/d	0,11 l/m ² /d	1131 l/d
Lavagem Tipo 2	0,10 l/m ² /d	111 l/d	0,03 l/m ² /d	30 l/d
Lavagem Tipo 3	2,88 l/m ² /d	1343 l/d	0,78 l/m ² /d	365 l/d
Torneira de Jardim	0,39 l/m ² /d	1166 l/d	0,11 l/m ² /d	317 l/d
Vazamento	0,93 l/m ² /d	12650 l/d	0,25 l/m ² /d	3441 l/d



Quadro 5. Indicadores de Consumo IB

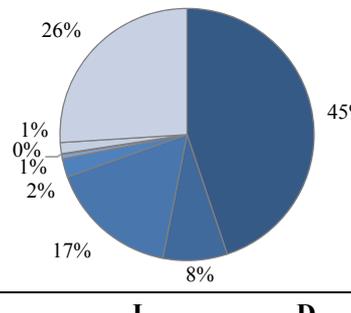
Instituto de Biologia (IB)				
Consumo Anual	5792,00 m^3/ano			
Consumo Diário	15868,49 l/d			
Consumo <i>Per Capita</i>	10,85 $l/p/d$			
Consumo <i>Per Area</i>	0,72 $l/m^2/d$			
Consumo Estimado	55861,26 l/d			
Consumo Faturado	15868,49 l/d			
Fator de Correção	0,28			
Discrepância	71,59%			



Usos-Finais de Água				
	I_{est}	D_{est}	I_{cor}	D_{cor}
Descarga Sanitária	10,80 $l/p/d$	15790 l/d	3,07 $l/p/d$	4485 l/d
Lavatório	8,10 $l/p/d$	11840 l/d	2,30 $l/p/d$	3363 l/d
Bebedouro	1,28 $l/p/d$	1875 l/d	0,36 $l/p/d$	533 l/d
Lavagem Tipo 1	0,63 $l/m^2/d$	8149 l/d	0,18 $l/m^2/d$	2315 l/d
Lavagem Tipo 2	0,16 $l/m^2/d$	1024 l/d	0,05 $l/m^2/d$	291 l/d
Lavagem Tipo 3	0,90 $l/m^2/d$	584 l/d	0,26 $l/m^2/d$	166 l/d
Torneira de Jardim	2,43 $l/m^2/d$	3600 l/d	0,69 $l/m^2/d$	1023 l/d
Vazamento	0,59 $l/m^2/d$	13000 l/d	0,17 $l/m^2/d$	3693 l/d

Quadro 6. Indicadores de Consumo ICC

Instituto Central de Ciências (ICC)				
Consumo Anual	90204,08 m^3/ano			
Consumo Diário	247134,47 l/d			
Consumo <i>Per Capita</i>	27,51 $l/p/d$			
Consumo <i>Per Area</i>	3,83 $l/m^2/d$			
Consumo Estimado	445600,70 l/d			
Consumo Faturado	247134,47 l/d			
Fator de Correção	0,55			
Discrepância	44,54%			

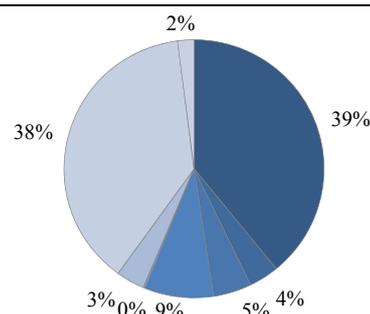


Usos-Finais de Água				
	I_{est}	D_{est}	I_{cor}	D_{cor}
Descarga Sanitária	22,26 $l/p/d$	199985 l/d	12,35 $l/p/d$	110914 l/d
Lavatório	4,06 $l/p/d$	36472 l/d	2,25 $l/p/d$	20228 l/d
Bebedouro	8,17 $l/p/d$	73442 l/d	4,53 $l/p/d$	40732 l/d
Lavagem Tipo 1	0,22 $l/m^2/d$	10506 l/d	0,12 $l/m^2/d$	5827 l/d
Lavagem Tipo 2	0,22 $l/m^2/d$	2555 l/d	0,12 $l/m^2/d$	1417 l/d
Lavagem Tipo 3	0,35 $l/m^2/d$	359 l/d	0,19 $l/m^2/d$	199 l/d
Torneira de Jardim	0,96 $l/m^2/d$	6374 l/d	0,54 $l/m^2/d$	3535 l/d
Vazamento	1,79 $l/m^2/d$	115908 l/d	1,00 $l/m^2/d$	64284 l/d

Quadro 7. Indicadores de Consumo SG 1

Instituto de Artes (IDA/SG 1)

Consumo Anual	481,00 <i>m³/ano</i>
Consumo Diário	1317,81 <i>l/d</i>
Consumo <i>Per Capita</i>	4,64 <i>l/p/d</i>
Consumo <i>Per Area</i>	0,48 <i>l/m²/d</i>
Consumo Estimado	9463,70 <i>l/d</i>
Consumo Faturado	1317,81 <i>l/d</i>
Fator de Correção	0,14
Discrepância	86,08%

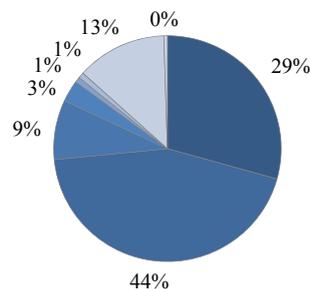


Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	13,03 <i>l/p/d</i>	3701 <i>l/d</i>	1,81 <i>l/p/d</i>	515 <i>l/d</i>
Lavatório	1,24 <i>l/p/d</i>	35 <i>l/d</i>	0,17 <i>l/p/d</i>	49 <i>l/d</i>
Bebedouro	1,59 <i>l/p/d</i>	451 <i>l/d</i>	0,22 <i>l/p/d</i>	63 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 1	0,58 <i>l/m²/d</i>	813 <i>l/d</i>	0,08 <i>l/m²/d</i>	113 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 2	0,08 <i>l/m²/d</i>	20 <i>l/d</i>	0,01 <i>l/m²/d</i>	3 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 3	4,54 <i>l/m²/d</i>	334 <i>l/d</i>	0,63 <i>l/m²/d</i>	47 <i>l/d</i>
Torneira de Jardim	5,63 <i>l/m²/d</i>	3600 <i>l/d</i>	0,78 <i>l/m²/d</i>	501 <i>l/d</i>
Vazamento	0,07 <i>l/m²/d</i>	192 <i>l/d</i>	0,01 <i>l/m²/d</i>	27 <i>l/d</i>

Quadro 8. Indicadores de Consumo IPOL-IREL

Instituto de Ciências Políticas – Instituto de Relações Internacionais (IPOL-IREL)

Consumo Anual	1844,50 <i>m³/ano</i>
Consumo Diário	5053,42 <i>l/d</i>
Consumo <i>Per Capita</i>	5,45 <i>l/p/d</i>
Consumo <i>Per Area</i>	0,93 <i>l/m²/d</i>
Consumo Estimado	41896,56 <i>l/d</i>
Consumo Faturado	5053,42 <i>l/d</i>
Fator de Correção	0,12
Discrepância	87,94%

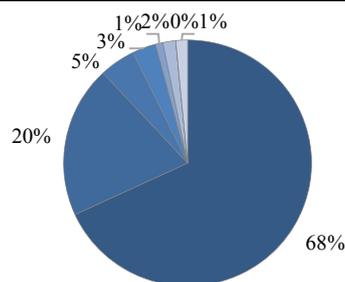


Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	13,25 <i>l/p/d</i>	12294 <i>l/d</i>	1,60 <i>l/p/d</i>	1483 <i>l/d</i>
Lavatório	19,91 <i>l/p/d</i>	18475 <i>l/d</i>	2,40 <i>l/p/d</i>	2228 <i>l/d</i>
Bebedouro	3,85 <i>l/p/d</i>	3574 <i>l/d</i>	0,46 <i>l/p/d</i>	431 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 1	0,79 <i>l/m²/d</i>	1301 <i>l/d</i>	0,09 <i>l/m²/d</i>	157 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 2	0,21 <i>l/m²/d</i>	315 <i>l/d</i>	0,03 <i>l/m²/d</i>	38 <i>l/d</i>
Lavagem Tipo 3	2,31 <i>l/m²/d</i>	354 <i>l/d</i>	0,28 <i>l/m²/d</i>	43 <i>l/d</i>
Torneira de Jardim	6,73 <i>l/m²/d</i>	5367 <i>l/d</i>	0,81 <i>l/m²/d</i>	647 <i>l/d</i>
Vazamento	0,04 <i>l/m²/d</i>	216 <i>l/d</i>	0,00 <i>l/m²/d</i>	26 <i>l/d</i>

Quadro 9. Indicadores de Consumo PJC

Pavilhão João Calmon (PJC)

Consumo Anual	1909,53 m ³ /ano
Consumo Diário	5231,58 l/d
Consumo <i>Per Capita</i>	6,40 l/p/d
Consumo <i>Per Area</i>	1,79 l/m ² /d
Consumo Estimado	14162,88 l/d
Consumo Faturado	5231,58 l/d
Fator de Correção	0,37
Discrepância	63,06%

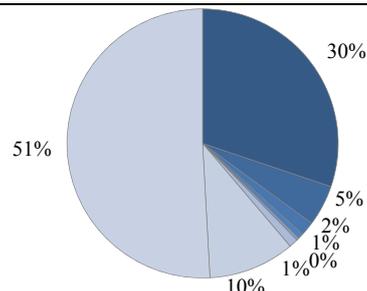


Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	11,79 l/p/d	9647 l/d	4,36 l/p/d	3563 l/d
Lavatório	3,46 l/p/d	2827 l/d	1,28 l/p/d	1044 l/d
Bebedouro	0,80 l/p/d	658 l/d	0,30 l/p/d	243 l/d
Lavagem Tipo 1	0,23 l/m ² /d	441 l/d	0,08 l/m ² /d	163 l/d
Lavagem Tipo 2	0,23 l/m ² /d	135 l/d	0,08 l/m ² /d	50 l/d
Lavagem Tipo 3	1,80 l/m ² /d	240 l/d	0,66 l/m ² /d	89 l/d
Torneira de Jardim	0,00 l/m ² /d	0 l/d	0,00 l/m ² /d	0 l/d
Vazamento	0,07 l/m ² /d	216 l/d	0,03 l/m ² /d	80 l/d

Quadro 10. Indicadores de Consumo SG 12

Serviços Gerais 12 (SG 12)

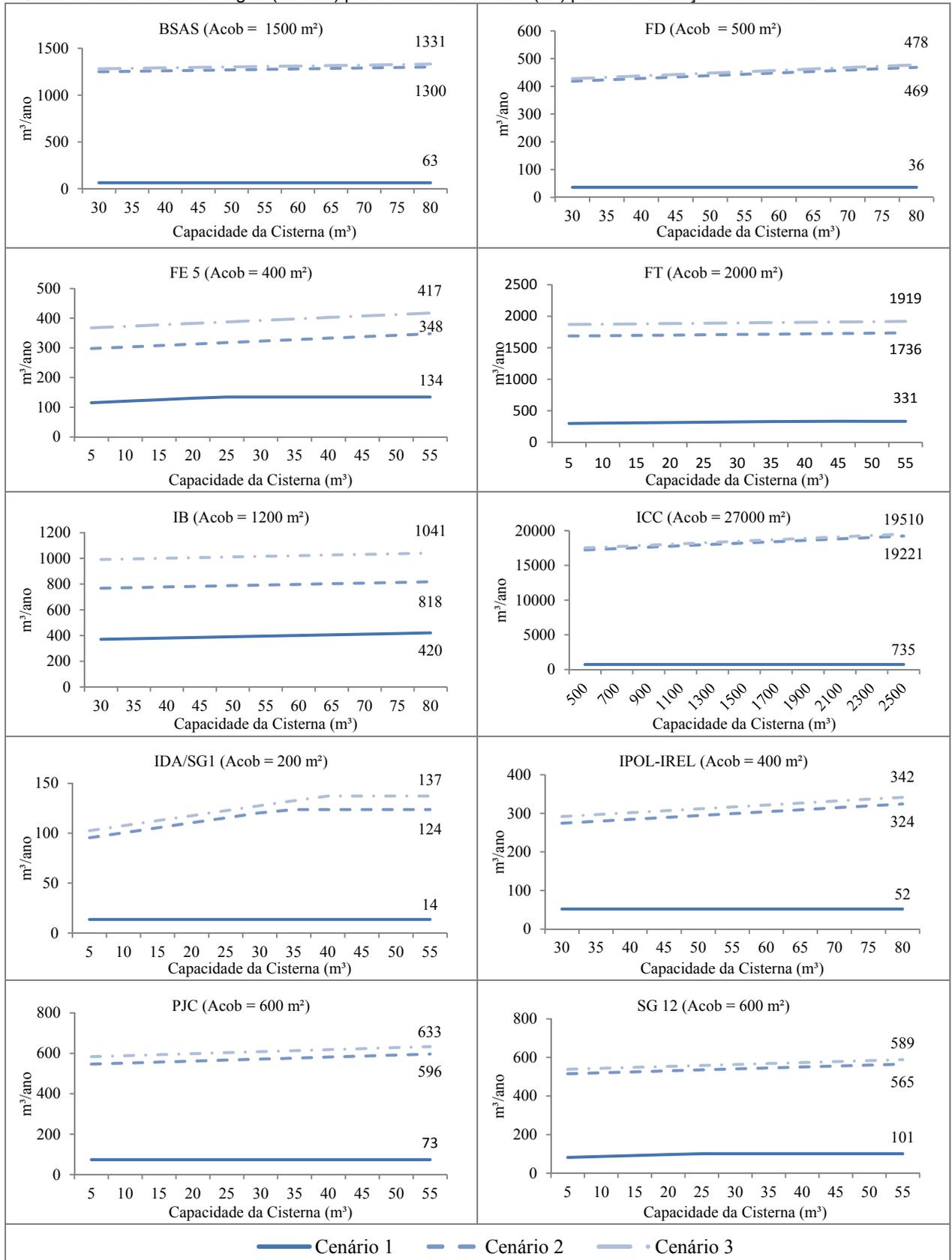
Consumo Anual	3992,50 m ³ /ano
Consumo Diário	10938,36 l/d
Consumo <i>Per Capita</i>	48,61 l/p/d
Consumo <i>Per Area</i>	2,00 l/m ² /d
Consumo Estimado	15717,30 l/d
Consumo Faturado	10938,36 l/d
Fator de Correção	0,70
Discrepância	30,41%



Usos-Finais de Água	I _{est}	D _{est}	I _{cor}	D _{cor}
Descarga Sanitária	21,11 l/p/d	4749 l/d	14,69 l/p/d	3305 l/d
Lavatório	3,42 l/p/d	770 l/d	2,38 l/p/d	536 l/d
Bebedouro	1,18 l/p/d	266 l/d	0,82 l/p/d	185 l/d
Lavagem Tipo 1	0,02 l/m ² /d	100 l/d	0,02 l/m ² /d	70 l/d
Lavagem Tipo 2	0,06 l/m ² /d	50 l/d	0,04 l/m ² /d	35 l/d
Lavagem Tipo 3	1,67 l/m ² /d	169 l/d	1,16 l/m ² /d	117 l/d
Torneira de Jardim	0,96 l/m ² /d	1620 l/d	0,67 l/m ² /d	1127 l/d
Vazamento	1,46 l/m ² /d	7994 l/d	1,02 l/m ² /d	5563 l/d

O Quadro 11 traz os gráficos das simulações de dimensionamento de cisternas para três cenários. O Cenário 1 refere-se ao uso de água para limpeza dos ambientes e irrigação de jardins; o Cenário 2 para o uso em descargas sanitárias; o Cenário 3 é a demanda combinada dos Cenários 1 e 2.

Quadro 11. Economia de água (m³/ano) por volume de cisterna (m³) para as edificações analisadas



Os trechos retilíneos das linhas dos gráficos representam o patamar no qual a economia de água será a mesma, independente do volume da cisterna. Isso se dá por conta da estabilização do balanceamento da oferta e da demanda de água. O objetivo de realizar simulações é obter o volume de cisterna adequado para o sistema de captação de águas pluviais. Em todos os edifícios, as áreas de cobertura foram suficientes para suprir as demandas de uso não potável. Os edifícios com as maiores economias de água, considerando o Cenário 3, foram o ICC, com 19.510 m³/ano (cisterna de 2.500 m³), a FT, com economia de 1.919 m³/ano (para uma cisterna de 80 m³) e o BSAS, com economia de água de 1.331 m³/ano (para uma cisterna de 80 m³). O edifício com a menor economia de economia de água foi o IDA, com 137 m³/ano (para uma cisterna de 40 m³).

Quanto ao reúso de águas cinzas, os edifícios com maiores economias de água, para o Cenário 3, foram o ICC, com economia de água de 4.855 m³/ano, o IB, com 807 m³/ano e a FT, com 437 m³/ano. O edifício com a menor economia de água foi o IDA, com 12 m³/ano. A Tabela 2 mostra as economias anuais de água dos sistemas AAP e RAC, para os três cenários previstos.

Tabela 2. Economia anual de água para os sistemas AAP e RAC

Edifício	AAP			RAC		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
BSAS	63	1300	1331	63	354	354
FD	36	469	478	36	218	218
FE5	134	348	417	134	303	303
FT	331	1761	1919	331	437	437
IB	420	818	1041	420	807	807
ICC	735	19221	19510	735	4855	4855
IDA/SG1	14	124	137	12	12	12
IPOL-IREL	52	324	342	52	356	408
PJC	73	596	633	73	251	251
SG12	101	565	589	101	129	129

Diferentemente do aproveitamento de águas pluviais, a oferta de águas cinzas tem variações mínimas ao longo do ano, não cabendo fazer uma simulação que compare diferentes volumes de reservatórios inferiores. A comparação das economias dos sistemas AAP e RAC é apresentada nos parágrafos a seguir.

Tanto o sistema de AAP quanto o de RAC foram capazes de suprir toda a demanda de água do Cenário 1, para todos os prédios, exceto o sistema RAC do IDA. Isso pode ser explicado pelo fato do consumo de água em lavatórios deste prédio ser menor que o de lavagem de pisos e de irrigação, em outras palavras, a oferta de água cinza foi menor que a demanda. Para os Cenários 2 e 3, somente o sistema RAC do IPOL-IREL foi capaz de suprir toda a demanda de água. Isso pode ser explicado por respostas incoerentes dos entrevistados. Houve casos em que os entrevistados alegaram lavar a mão com a torneira aberta por 120 segundos a cada uso, o que elevou a média de tempo de uso deste aparelho para 33 segundos para o IPOL-IREL, quando as demais edificações apresentaram uma média de tempo de, aproximadamente, 10 segundos. O impacto destas respostas pode ser percebido no próprio gráfico de usos finais de água do IPOL-IREL (presente no Quadro 8), no qual a demanda de água nos lavatórios é maior que nas descargas sanitárias, o que não ocorreu em nenhum dos outros prédios.

No geral, o aproveitamento de águas pluviais se mostrou mais eficiente do que o reúso de águas cinzas na maioria das edificações e cenários. Entretanto comparar as eficiências dos sistemas AAP e RAC para uma determinada demanda de água não potável, em um mesmo edifício, não é o suficiente para determinar se a adoção de um ou outro sistema valerá o investimento. Embora o propósito deste trabalho não tenha sido avaliar a viabilidade de adotar AAP ou RAC em um edifício, é importante frisar

que os custos para a construção e manutenção das instalações destes sistemas devem ser considerados como possíveis limitantes dos ganhos financeiros.

4. Conclusões

Este estudo teve como objetivo caracterizar os usos-finais de água em uma instituição de ensino superior e, com isso, realizar um estudo comparativo do desempenho de sistemas de aproveitamento de águas pluviais com sistemas de reúso de águas cinzas. Como ponto de partida, foram caracterizados os usos-finais de água nas principais edificações de ensino do Campus Universitário Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. Indicadores de consumo *per capita* variaram entre 3,89 *l/p/d* e 48,61 *l/p/d*, enquanto indicadores de consumo *per area* variaram entre 0,48 *l/m²/d* e 3,83 *l/m²/d*. A atividade de maior consumo de água, na maioria das edificações, se encontra nas descargas sanitárias, representando 68% a 28% de todo consumo predial. Elevados índices de vazamentos foram identificados com perdas chegando a uma vazão de aproximadamente 116m³ de água potável por dia no Instituto Central de Ciências (ICC).

A análise de sensibilidade mostrou grandes discrepâncias entre o consumo estimado e o consumo faturado, porém, os indicadores de consumo e as demandas de água assemelham-se a outros trabalhos realizados em ambientes escolares. As discrepâncias encontradas podem ser explicadas pelo superdimensionamento das populações dos edifícios. O número de alunos foi calculado conforme o número de matrículas de cada curso de graduação e de pós-graduação, enquanto as demandas diárias de água para descargas sanitárias, lavatórios e bebedouros, foram calculadas como se todos os alunos das faculdades e dos institutos estivessem presentes na Universidade de Brasília diariamente, o que não reflete a realidade da UnB. Nem todos os alunos matriculados frequentam aulas o dia inteiro. Além do mais, a presença de alunos em sala de aula se torna menos frequente na medida em que o semestre letivo evolui. Em outras palavras, alunos dos primeiros semestres tendem ter aulas todos os dias, enquanto alunos dos últimos semestres cursam menos matérias, indo à universidade com menos frequência, podendo chegar a apenas uma vez por semana.

Resultados da análise comparativa entre os sistemas AAP e RAC indicam que, em geral, sistemas voltados ao aproveitamento de águas pluviais são capazes de promover maiores economias do que sistemas de reúso de águas cinzas. Considerando o aproveitamento de águas pluviais em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária, os edifícios com as maiores economias de água foram o ICC (19.510 m³/ano), seguido da FT (1.919 m³/ano) e o BSAS (1.331 m³/ano). Quanto ao reúso de águas cinzas em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária, os edifícios com maiores economias de água foram o ICC (4.855 m³/ano), seguido do IB (807 m³/ano) e a FT (437 m³/ano). Por fim, destaca-se que, para os Cenários 2 e 3, somente o sistema de reúso de águas cinzas do IPOL-IREL foi capaz de suprir toda a demanda de água, o que demonstra que respostas incoerentes dos entrevistados afetam diretamente as demandas de água de um uso final.

5. Referências

- ABNT. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.
- FASOLA, G.B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A.K.; BORINELLI, J.B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2011.
- FONINI, A.; FERNANDES, VMC; PIZZO, H.S. Estudo para determinação da capacidade de reúso das águas pluviais e das águas cinzas em um complexo esportivo universitário. In: **Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável**, 2004.
- GONÇALVES, O.M.; ILHA, M.S.O.; AMORIM, S.V.; PEDROSO, L.P. Indicadores de uso racional da água para escolas de ensino fundamental e médio. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 3, p. 35-48, 2005.

MARINOSKI, A.K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis–SC. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

SANT'ANA, D. Uso Racional da Água. In: **Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística**. 2 ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2015, p. 757-786.

SANTANA, P.M.; SANT'ANA, D. Water use and conservation in educational centres of the Federal District, Brazil. In: **PLEA: Design to Thrive**. Edinburgh: NCEUB, 2017. v. 3. p. 5173-5180.

SANT'ANNA, R.; MIRANDA, R.; CÉSAR, L.; SANT'ANA, D. Análise do consumo de água em escola pública do Distrito Federal. In: **Terra: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013, p.1231-1243.

SILVA, G.; TAMAKI, H.O.; GONÇALVES, O.M. Implementação de programas de uso racional da água em campi universitários. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

YWASHIMA, L. A. **Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.