

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

**Viabilidade de implantação de sistema fotovoltaico e de aproveitamento de  
água pluvial para estabelecimento assistencial de saúde a partir de critérios  
AQUA**

Belo Horizonte

2019

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

**Viabilidade de implantação de sistema fotovoltaico e de aproveitamento de água pluvial para estabelecimento assistencial de saúde a partir de critérios  
AQUA**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído

Área de concentração: Ambiente Construído

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

2019

### FICHA CATALOGRÁFICA

M538v

Mendes, Ludmila Cardoso Fagundes.

Viabilidade de implantação de sistema fotovoltaico e de aproveitamento de água pluvial para estabelecimento assistencial de saúde a partir de critérios AQUA [manuscrito] / Ludmila Cardoso Fagundes Mendes. - 2019.

45 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

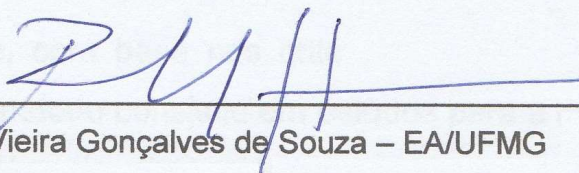
Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Águas pluviais. 4. Água - Captação. 5. Edifícios sustentáveis. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

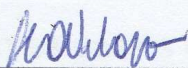
Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG

Monografia defendida junto ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais e aprovado em 13 de junho de 2019, pela banca examinadora constituída pelos professores



---

Professora Dr<sup>a</sup>. Roberta Vieira Gonçalves de Souza – EA/UFMG



---

Professora Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina de Oliveira Veloso

## RESUMO

O funcionamento de estabelecimentos assistenciais de saúde gera diversos impactos ambientais. Neste cenário, existem várias medidas sustentáveis que podem ser aplicadas à construção civil, com o intuito de reduzir os impactos do uso das edificações ao meio ambiente. Este trabalho teve o objetivo de estudar a viabilidade para a implantação de Sistema Fotovoltaico e de Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial em um edifício que abriga dois estabelecimentos assistenciais de saúde, com base nos critérios de avaliação de desempenho da Certificação AQUA. O método consistiu em estudos para a estimativa dos consumos de energia e água, além do dimensionamento dos dois sistemas e respectivos cálculos de *payback*. O sistema fotovoltaico apresentou uma economia satisfatória, que poderá ser superior ao estimado, pois o consumo foi estimado para dias de verão, quando há maiores gastos com energia para condicionamento de ar. Os dois sistemas apresentaram baixo período de retorno sobre o investimento. A comparação entre os resultados encontrados e os critérios da Certificação AQUA mostrou que a implantação do sistema fotovoltaico consegue atingir o nível excelente. O sistema de aproveitamento de água pluvial obteve apenas o nível bom, mas devido ao custo razoável para instalação e ao curto tempo de retorno sobre o investimento, o estudo considerou ser interessante a implantação do sistema, independentemente do nível de desempenho alcançado.

Palavras-chaves: Energia fotovoltaica, água pluvial, AQUA, Estabelecimento Assistencial de Saúde.

## **ABSTRACT**

The functioning of health care establishments generates several environmental impacts. In this scenario, there are several sustainable measures that can be applied to civil construction, in order to reduce building use impacts to the environment. The goal of this paper is studying the feasibility for the implantation of Photovoltaic System and Rainwater Utilization System in a construction that houses two health care establishments, based on AQUA Certification's criteria of performance evaluation. The method consisted of studies for the estimation of energy and water consumption, besides the measurement of the two systems and respective payback calculations. The photovoltaic system showed a satisfactory economy, which may be higher, since consumption was estimated for summer days, when there are higher energy expenditures. The two systems showed a short-term return on investment. The comparison between the results found and the AQUA Certification's criteria showed that the photovoltaic system implantation reaches the excellent level. The rainwater exploitation system reaches only the good level, but due to the reasonable cost of installation and the short-term return on investments, the study considered interesting to implement the system regardless of the performance level achieved.

**Keywords:** Photovoltaic energy, rainwater, AQUA, Health Care Establishment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema com reservatório elevado.....	16
Figura 2 - Sistema com reservatório inferior.....	17
Figura 3 - Sistema com reservatório inferior e superior.....	18
Figura 4 - Edificação em estudo.....	20
Figura 5 - Estudo de sombras: Solstício de inverno (9:00h).....	31
Figura 6 - Estudo de sombras: Solstício de inverno (15:00h).....	31
Figura 7 - Estudo de sombras: Solstício de verão (9:00h) .....	31
Figura 8 - Estudo de sombras: Solstício de verão (15:00h) .....	31
Figura 9 - Diagrama de cobertura com a área disponível para a instalação dos painéis fotovoltaicos .....	32
Figura 10 - Diagrama de cobertura com a área de captação de água pluvial e com a localização do reservatório.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa do consumo mensal de energia para o Ambulatório.....	30
Tabela 2 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico para a edificação.....	32
Tabela 3 - Retorno financeiro do sistema fotovoltaico dimensionado .....	33
Tabela 4 - Estimativa do consumo mensal de água para o ambulatório por usuários .....	34
Tabela 5 - Estimativa do consumo de água para o ambulatório - limpeza .....	34
Tabela 6 - Estimativa do consumo total de água para o ambulatório.....	34
Tabela 7 - Estimativa da demanda de água para irrigação .....	35
Tabela 8 - Estimativa da demanda de água para limpeza do piso do subsolo e das áreas externas da edificação.....	35
Tabela 9 - Dimensionamento de sistema de aproveitamento de água pluvial .....	36
Tabela 10 - Investimento e retorno financeiro para o sistema de aproveitamento de água pluvial .....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise dos sistemas dimensionados a partir dos critérios estabelecidos no Referencial AQUA .....	38
--	----



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	22
Equação 2 .....	23
Equação 3 .....	24
Equação 4 .....	24
Equação 5 .....	25
Equação 6 .....	26
Equação 7 .....	27
Equação 8 .....	27
Equação 9 .....	28

## SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT .....	4
1 INTRODUÇÃO .....	9
1.1 OBJETIVO .....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 SUSTENTABILIDADE .....	11
2.1.1 Sustentabilidade em edificações de serviços de saúde.....	11
2.2 CERTIFICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM EDIFÍCIOS .....	12
2.2.1 Processo AQUA-HQE.....	13
2.3 GESTÃO DA ENERGIA: SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	15
2.4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL.....	16
3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO ASSISTENCIAL DE SAÚDE OBJETO DE ESTUDO.....	20
4.1 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	22
4.1.1 Dimensionamento de sistema fotovoltaico.....	23
4.1.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro .....	24
4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL .....	25
4.2.1 Dimensionamento de sistema de aproveitamento de água pluvial.....	27
4.2.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro .....	28
4.3 ANÁLISE DOS SISTEMAS A PARTIR DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO REFERENCIAL AQUA. ....	28
5 resultados .....	30
5.1 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	30
5.1.1 Dimensionamento de sistema fotovoltaico para a edificação .....	30
5.1.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro do sistema fotovoltaico.....	32
5.2 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL .....	33
5.2.1 Dimensionamento de sistema de captação de água pluvial para a edificação – resultados .....	35
5.2.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro do aproveitamento da água pluvial.....	37
5.3 ANÁLISE DOS SISTEMAS A PARTIR DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO REFERENCIAL AQUA. ....	37
6 CONCLUSÕES .....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas sustentáveis no setor da construção civil cresce a cada dia. De acordo com o Guia de Sustentabilidade na Construção, elaborado pela Câmara da Indústria da Construção (2008), tanto governos quanto consumidores, investidores e associações têm alertado, estimulado e até mesmo pressionado sobre a importância de incorporar sustentabilidade às construções. Dessa forma, a construção sustentável busca atender às condições de conforto dos usuários, com menor impacto ambiental (LOBO, 2010).

Assim como outros tipos de construções, os edifícios hospitalares também podem empregar tecnologias sustentáveis capazes de reduzir os prejuízos ambientais. A importância de aplicar tecnologias sustentáveis em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) se deve tanto pelas dimensões das instalações necessárias para as atividades desenvolvidas, quanto pelo uso ininterrupto de diversos equipamentos, que fazem das edificações hospitalares grandes consumidoras de água e energia. Ao estudar sobre sustentabilidade em estabelecimentos de saúde, Bitencourt (s/d apud CARVALHO, 2006) afirma que o impacto ambiental gerado por tais edificações pode ser considerado dos mais severos para o meio ambiente.

Haja vista os diversos meios de empregar sustentabilidade às edificações, Silva (2003) destaca o uso de sistemas de avaliação, classificação e certificação de desempenho ambiental, como um artifício eficaz para elevar o nível de desempenho de edificações novas ou existentes. As ferramentas e os métodos de avaliação contribuem para o entendimento do conceito de qualidade ambiental ao tratarem de aspectos a serem avaliados na concepção de construções sustentáveis (SALGADO, CHATELET, FERNANDEZ, 2012).

No Brasil, a Fundação Vanzolini é considerada a primeira certificadora da construção civil. Trata-se de uma instituição privada, mantida pelo Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que trouxe para o Brasil a Certificação da Construção Sustentável - Processo AQUA-HQE. Esta certificação foi desenvolvida a partir da certificação francesa Démarche HQE (VANZOLINI, 2014). Por terem sido adaptados para a realidade brasileira, os referenciais técnicos da certificação AQUA consideram as normas técnicas e as

condições climáticas do país (VANZOLINI, 2014). Em 2011 a Fundação Vanzolini elaborou a primeira versão brasileira de um referencial AQUA voltado para organizações de saúde. O material oferece requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento, além de critérios de desempenho nas 14 categorias da Qualidade Ambiental do Edifício, onde se inserem, dentre outros desafios ambientais, a gestão da energia e a gestão a água (VANZOLINI, 2011).

Ao versar sobre gestão da energia em edificações, Gauzin-Muller (2011) defende o uso de energias renováveis, onde destaca a energia solar como a mais benéfica ao meio ambiente. Dentre as várias aplicações da energia solar, encontra-se a geração de eletricidade através de células fotovoltaicas. Produzidos com materiais semicondutores, os painéis fotovoltaicos são capazes de absorver parte da radiação solar incidente e de transformá-la em energia elétrica (CHIVELET e SOLLA, 2010).

Além da gestão da energia, a gestão da água também é uma medida sustentável, que tem como meta adiar a escassez de um recurso natural. Neste contexto, o uso de águas pluviais para fins não potáveis evita o desperdício de água tratada para a irrigação, limpeza e descarga de vasos sanitários (COSTA, 2007).

## **1.1 OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade da implantação de Sistema Fotovoltaico e de Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial em um edifício que abriga uma Unidade de Pronto Atendimento e que passará também a contemplar um Ambulatório de Especialidades Médicas, com base nos critérios de avaliação de desempenho do Referencial Técnico de Certificação AQUA para Organizações de Saúde.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SUSTENTABILIDADE**

As questões relacionadas à degradação do meio ambiente são motivo de discussões desde a primeira conferência promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), no ano de 1972, em Estocolmo. Mais tarde, em 1987, o Relatório de Bruntland apresentou uma nova abordagem para as questões ambientais, com o conceito de desenvolvimento sustentável (SERRADOR, 2008).

Vinte anos após a Conferência de Estocolmo, a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Rio 92, trouxe um alerta sobre as consequências da exploração desordenada de matérias primas, das mudanças climáticas e da degradação ambiental. Os princípios abordados na Rio 92 resultaram no programa de desenvolvimento conhecido como Agenda 21. Instrumento com dimensões sociais e econômicas, a Agenda 21 de cada país deve prever a integração de questões ambientais nos processos de tomada de decisão, com recomendações ligadas à gestão racional de recursos naturais (GAUZIN-MULLER, 2011).

Neste contexto, Silva (2003) destaca a importância do setor da construção para que as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas para qualquer país possam ser alcançadas. Tal importância deve-se ao impacto que as edificações representam para o meio ambiente, em virtude do grande consumo de recursos naturais e energéticos, além da geração de resíduos, seja nas fases de construção, reforma, uso ou demolição.

#### **2.1.1 Sustentabilidade em edificações de serviços de saúde**

Diante da sensibilização social sobre a importância de racionalizar recursos naturais, tem-se uma cobrança para que edificações novas ou existentes adotem estratégias que contribuam para a preservação do meio ambiente. Isto inclui as edificações que abrigam Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (LOBO, 2010).

Toledo e Demajorovic (2006) destacam que, entre as diversas atividades do setor de serviços, a hospitalar é uma das maiores consumidoras de energia elétrica. Neste contexto, Góes (2011) aponta que o alto consumo de energia dos EASs deve-se tanto pelos ambientes que precisam ser climatizados, quanto pelas

demais instalações necessárias para as atividades, que demandam grande utilização de energia. Com isso, ressalta a importância da adoção de fontes passivas de energia para o funcionamento do edifício.

O consumo de água também é um fator ambiental relevante para os EASs, pois inclui o uso por funcionários, pacientes e acompanhantes, além de serviços de limpeza, irrigação, lavanderia e cozinha (TOLEDO e DEMAJOROVIC, 2006). Tendo em vista a redução do consumo de água tratada, Costa (2007) indica o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, tais como irrigação de jardins, lavagem de pisos e descarga de vasos sanitários.

## **2.2 CERTIFICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM EDIFÍCIOS**

De acordo com Silva (2003), a constatação de que os países que consideravam dominar os conceitos de projeto ecológico não dispunham de meios para verificar até que ponto seus edifícios eram “verdes” foi o primeiro indício da necessidade de criar métodos de avaliação do desempenho ambiental de edifícios. Assim, destaca que o interesse por tais métodos de avaliação foi impulsionado pelo consenso entre pesquisadores e agências governamentais de que a classificação de desempenho ligada aos sistemas de certificação é um dos métodos mais eficazes para elevar o nível de desempenho ambiental de edificações novas ou existentes.

O método de avaliação da maioria dos certificadores é organizado em critérios de pontos ou créditos que são atribuídos à medida em que os requisitos são atendidos. Tais requisitos são inseridos em blocos temáticos e definidos com base nos indicadores de desempenho (RAMALHO, 2012). Relacionados a aspectos construtivos e ambientais, os requisitos consideram não apenas a edificação em si, mas também o seu entorno (MATOS, 2014).

O BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) foi o primeiro sistema de certificação criado para a construção civil, no ano de 1990, pelo Reino Unido. Posteriormente outros países também desenvolveram seus certificados, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), criado em 1999 pelos Estados Unidos; o HQE (*Haute Qualité Environnementale*), empregado pela França a partir de 2005; entre outros (MATOS, 2014).

Ramalho (2012) enfatiza que o sucesso da aplicação dos sistemas de

certificação está vinculado à adequação dos critérios de avaliação às particularidades do local onde o edifício será construído. Tal adequação deve ser feita, principalmente, quando da definição dos valores de referência para os indicadores de desempenho.

### **2.2.1 Processo AQUA-HQE**

A Fundação Vanzolini é tida como a primeira certificadora brasileira de edificações. Estabelecida em 1967, a Fundação é uma instituição privada, sem fins lucrativos, mantida pelos professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Sua missão é o desenvolvimento e a disseminação de conhecimentos científicos e tecnológicos ligados à Engenharia de Produção e demais áreas relacionadas, de forma inovadora (VANZOLINI, 2014).

Com o intuito de trazer uma proposta inovadora para a construção civil brasileira, no ano de 2008 a Fundação Vanzolini lançou a certificação de sustentabilidade Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental). Desenvolvido com base na certificação francesa *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)*, o Processo AQUA leva em consideração os aspectos culturais e climáticos brasileiros, respeitando as normas técnicas e demais regulamentações vigentes no país (VANZOLINI, 2019).

Desde o lançamento do Processo AQUA, os referenciais técnicos para a certificação são estruturados em dois elementos: Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). O primeiro tem como finalidade avaliar o sistema de gestão ambiental executado pelo empreendedor, enquanto o segundo visa avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da edificação em construção ou reabilitação.

Composta por 14 categorias que representam desafios ambientais para os edifícios, a avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício inicialmente era classificada em três níveis: Nível Bom, equivalente ao desempenho mínimo aceitável para um empreendimento de Alta Qualidade Ambiental; Nível Superior, equiparado ao das boas práticas; Nível Excelente, caracterizado pelos desempenhos máximos observados em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental (BUENO e ROSSIGNOLO, 2010).

No ano de 2014 a Fundação Vanzolini realizou uma aliança entre os referenciais brasileiros e franceses, criando a certificação AQUA- HQE. Esta aliança foi possível devido à criação da entidade internacional CERWAY, responsável por articular as iniciativas globais HQE, com vistas na ampliação do desenvolvimento da certificação de construções sustentáveis. Com a fusão dos referenciais brasileiros e franceses, os novos referenciais do Processo AQUA-HQE passaram a classificar as 14 categorias de Qualidade Ambiental do Edifício nos níveis Base, Boas Práticas e Melhores Práticas.

Atualmente, a Fundação Vanzolini possui referenciais técnicos para a certificação de edifícios residenciais, não residenciais e para organizações de saúde. O referencial AQUA para Organizações de Saúde foi elaborado em 2011 e ainda considera a classificação antiga para a avaliação da qualidade ambiental, nos níveis Bom, Superior e Excelente, para as 14 categorias:

- Categoria 1: Relação do edifício com o seu entorno;
- Categoria 2: Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;
- Categoria 3: Canteiro de obras com baixo impacto ambiental;
- Categoria 4: Gestão da energia;
- Categoria 5: Gestão da água;
- Categoria 6: Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício;
- Categoria 7: Manutenção - Permanência do desempenho ambiental;
- Categoria 8: Conforto higrotérmico;
- Categoria 9: Conforto;
- Categoria 10: Conforto visual;
- Categoria 11: Conforto olfativo;
- Categoria 12: Qualidade sanitária dos ambientes;
- Categoria 13: Qualidade sanitária do ar;
- Categoria 14: Qualidade sanitária da água.



Estas 14 categorias possuem subcategorias com as principais exigências para cada desafio ambiental. As subcategorias são, por sua vez, divididas, em exigências elementares.

### **2.3 GESTÃO DA ENERGIA: SISTEMA FOTOVOLTAICO**

A energia presente na radiação solar pode ser convertida em eletricidade de forma renovável e silenciosa através do efeito fotovoltaico. Este efeito ocorre em materiais semicondutores, que absorvem a energia presente nos fótons da radiação luminosa incidente e a transformam, diretamente, em eletricidade (ZILLES *et al.*, 2012).

Dessa forma, as células solares formam os módulos fotovoltaicos que, interligados, compõem o gerador elétrico de um sistema de energia fotovoltaica. Os tipos mais comuns de células solares são de silício monocristalino ou de silício multicristalino, podendo também ser encontradas películas de silício amorfo. Para Chivelet e Solla (2010), o uso predominante do silício deve-se ao domínio de sua tecnologia, ao seu alto rendimento e à sua confiabilidade.

Diversos são os fatores que interferem no rendimento do sistema fotovoltaico, onde destacam-se a orientação e a inclinação de instalação dos painéis solares. Rütter (2004) destaca que a orientação ideal para a instalação dos painéis é aquela com a superfície voltada para o equador. Assim, para no hemisfério sul os painéis devem ser posicionados preferencialmente com a superfície voltada para o norte geográfico, enquanto que para o hemisfério norte, o maior desempenho será obtido com painéis voltados para o sul geográfico. Já a inclinação ótima de instalação com relação à horizontal é dada pela latitude local.

Os sistemas de geração de energia fotovoltaica podem ser isolados, conectados à rede elétrica ou híbridos. Para edificações localizadas no meio urbano, as instalações fotovoltaicas mais comuns são aquelas conectadas à rede. Nesta configuração, quando a geração de energia é superior ao consumo, o excesso é injetado na rede de distribuição e são acumulados créditos energéticos. Já quando o sistema solar não consegue gerar energia suficiente para suprir o consumo, o déficit é provido pela concessionária (RÜTHER, 2004).

Este tipo de geração de energia próxima ao consumidor e conectada à

rede elétrica é conhecido como geração distribuída. No Brasil, a geração distribuída foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, em 2012, por meio da Resolução Normativa N° 482.

## 2.4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

A água utilizada para o consumo em edificações pode ser obtida por meio de uma concessionária; da captação direta de mananciais; do reuso de efluentes; ou da captação de águas pluviais (BUONO, 2018). O aproveitamento da água pluvial em edificações, além de reduzir o uso e, conseqüentemente, as despesas com água potável, pode contribuir para a redução dos riscos de inundações (ALVES, ZANELLA e SANTOS, 2008). A água coletada pode ser utilizada para irrigação, limpeza e descarga de vasos sanitários (COSTA, 2007).

O sistema para o aproveitamento da água da chuva pode ser planejado de três formas: sistema com reservatório elevado; sistema com reservatório inferior (sobre o solo ou no subsolo); e sistema dotado de reservatório inferior e superior (ALVES, ZANELLA e SANTOS, 2008). O primeiro sistema funciona por gravidade, onde a água coletada é armazenada em um reservatório e distribuída para os pontos de uso, através das tubulações (FIGURA 1).

- A – Calhas e tubulações
- B – Entrada da água da chuva no filtro
- C – Saída para a rede pluvial
- D – Ligação de água potável (rede pública)
- E – Ponto de utilização (água pluvial)
- 1 – Reservatório
- 2 – Filtro
- 3 – Sifão ladrão
- 4 – Freio d'água
- 5 – Sistema de realimentação
- 6 – Conjunto flutuante de sucção

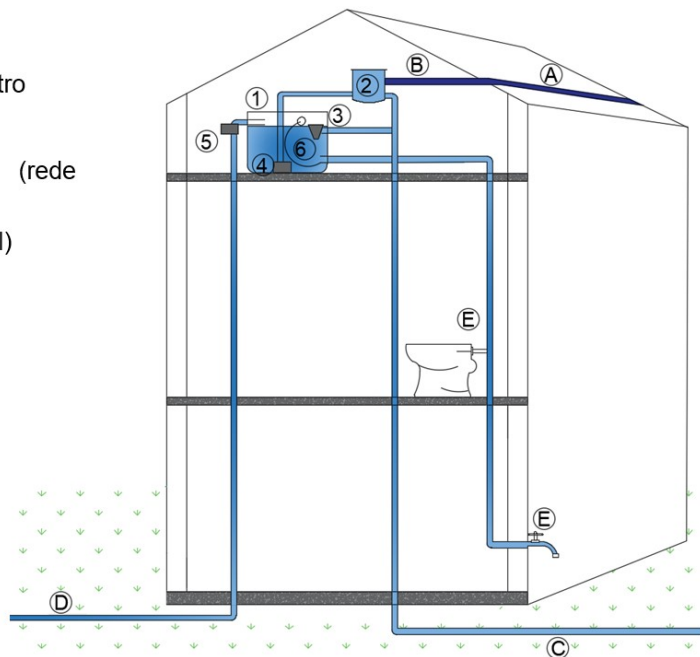


Figura 1 - Sistema com reservatório elevado

Fonte: Elaborado pela Autora

Já no segundo sistema, as calhas e tubulações direcionam a água para

ser armazenada em um reservatório inferior onde, por pressurização, será encaminhada diretamente para os pontos de utilização do edifício, conforme mostra a Figura 2.

- A – Calhas e tubulações
- B – Entrada da água da chuva no filtro
- C – Saída para a rede pluvial
- D – Ligação de água potável (rede pública)
- E – Ponto de utilização (água pluvial)
- 1 – Cisterna
- 2 – Filtro
- 3 – Sifão ladrão
- 4 – Freio d'água
- 5 – Bomba de recalque
- 6 – Conjunto flutuante de sucção
- 7 – Sistema de realimentação
- 8 - Pressostato

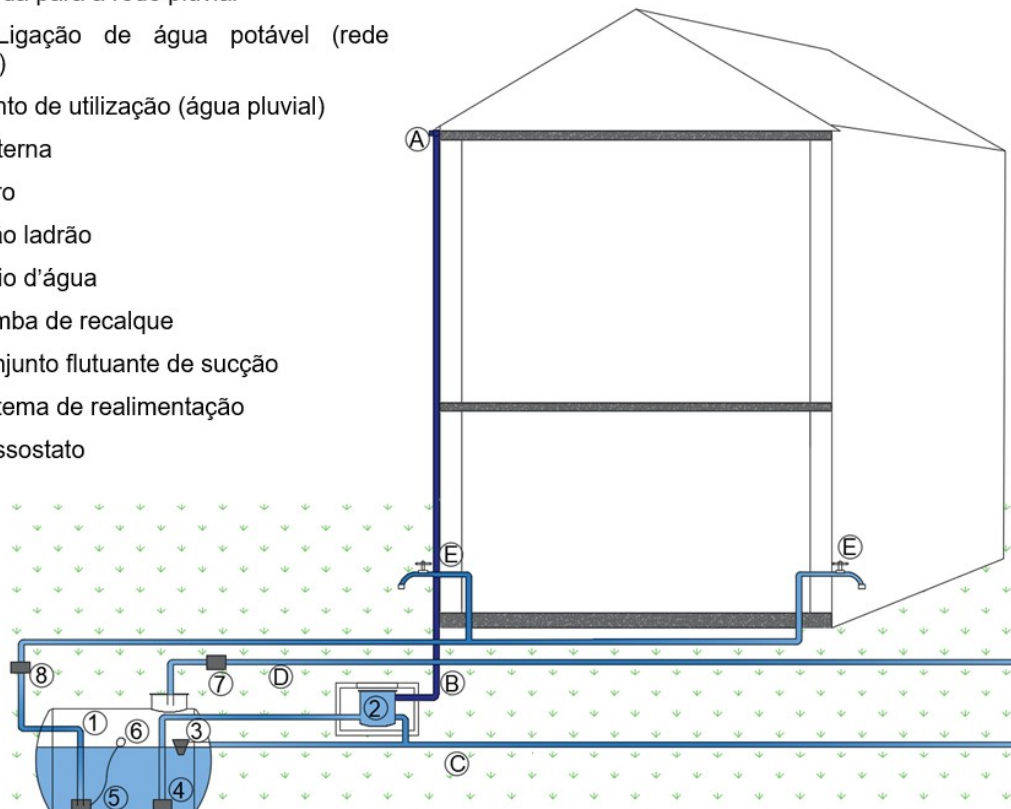


Figura 2 - Sistema com reservatório inferior

Fonte: Elaborado pela Autora

O último sistema funciona por recalque e gravidade e consiste no direcionamento da água para um reservatório inferior e posterior bombeamento para um reservatório superior (Figura 3).

- A – Calhas e tubulações  
 B – Entrada da água da chuva no filtro  
 C – Saída para a rede pluvial  
 D – Ligação de água potável (rede pública)  
 E – Ponto de utilização (água pluvial)  
 1 – Cisterna  
 2 – Filtro  
 3 – Sifão ladrão  
 4 – Freio d'água  
 5 – Bomba de recalque  
 6 – Conjunto flutuante de sucção  
 7 – Sistema de realimentação  
 8 – Reservatório superior

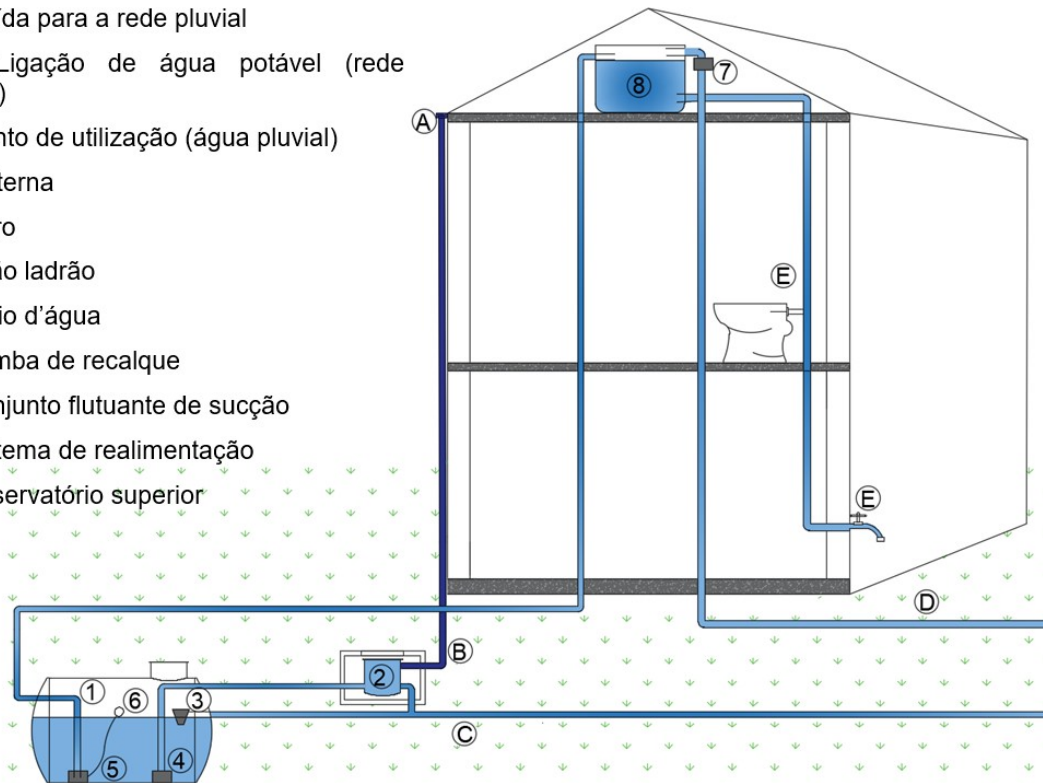


Figura 3 - Sistema com reservatório inferior e superior

Fonte: Elaborado pela Autora

Buono (2018) destaca como componentes básicos dos sistemas para aproveitamento de água pluvial:

- Área de captação, caracterizada pela cobertura da edificação;
- Condutores, que são as calhas e as tubulações responsáveis pelo transporte da água coletada;
- Sistema filtrante capaz de bloquear a passagem de detritos como folhas e fezes de animais;
- Reservatório para armazenamento da água coletada com extravasor para o descarte do excesso.

Além dos componentes citados, Tomaz (2011) salienta a importância da instalação de um dispositivo junto ao extravasor que impeça a entrada de pequenos animais no reservatório. Para preservar a qualidade da água armazenada é essencial que sejam realizadas, com frequência, a manutenção e a higienização dos componentes do sistema (SANTOS, 2011).

O tipo de tratamento da água pluvial depende da qualidade da água captada e de qual será o seu uso final. Em tratamentos simples pode ser utilizada a sedimentação natural, filtração simples e cloração (MAY, 2004). É recomendado o descarte de águas de escoamento inicial, devido à concentração de poluentes e microrganismos nas coberturas, principalmente após vários dias de seca (ALVES, ZANELLA e SANTOS, 2008).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO ASSISTENCIAL DE SAÚDE OBJETO DE ESTUDO

A edificação em estudo está localizada em Belo Horizonte e foi concluída em 2015 para abrigar um EAS, Estabelecimento Assistencial de Saúde. Com 4355m<sup>2</sup> de área construída, possui três pavimentos e um subsolo. O primeiro pavimento é ocupado por uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA), que funciona 24h com atendimento exclusivo pelo Sistema Único de Saúde (SUS); o segundo pavimento está em obras para receber um Ambulatório de Especialidades Médicas; o terceiro pavimento abriga um almoxarifado e, por fim, o subsolo compreende estacionamento, vestiários de funcionários, abrigos de resíduos, centrais de gases e o setor de manutenção.

A edificação é dividida nos Blocos A e B. O primeiro compreende todos os pavimentos e o segundo é composto apenas pelo primeiro pavimento e pelo subsolo (FIGURA 4).

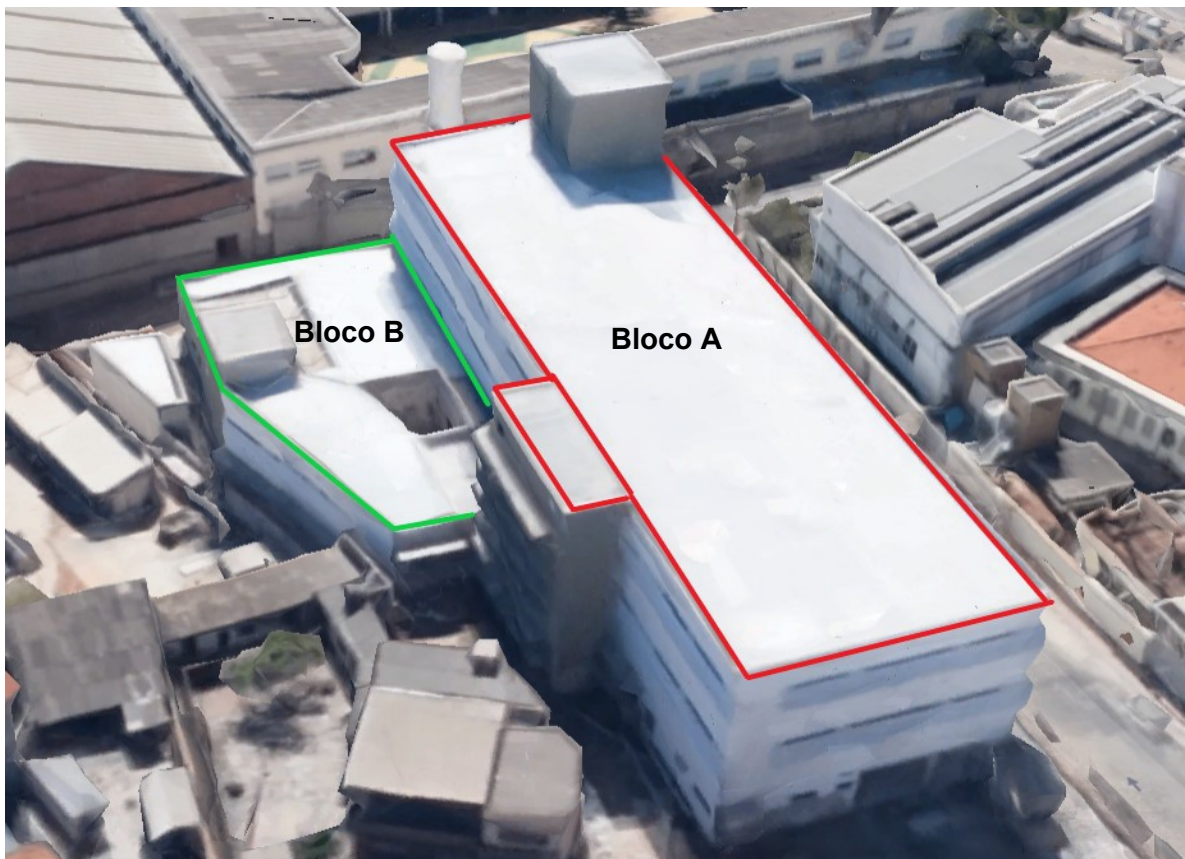


Figura 4 - Edificação em estudo

Fonte: Google Earth (Editado pela Autora)

O ambulatório que será transferido para a edificação também atende exclusivamente pelo SUS. Atualmente funciona em um edifício vizinho, com atendimento de 12 horas diárias, de segunda a sexta, totalizando 60 horas semanais e cerca de 21 dias ao mês. A previsão de conclusão da obra para a sua transferência é para segundo semestre de 2019. O projeto do estabelecimento prevê 43 salas de consultórios/exames e sete salas administrativas. Além disso, a nova sede contará com um elevador de macas e com sistema de condicionamento de ar em todos os consultórios, salas administrativas e áreas de espera.

## 4 FERRAMENTAS E MÉTODOS

O método do presente trabalho compreende três etapas principais:

1. Estudo de viabilidade para a implantação de um sistema fotovoltaico na edificação;
2. Estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de captação de água pluvial na edificação;
3. Análise dos sistemas a partir dos critérios de avaliação do Referencial AQUA.

### 4.1 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia elétrica da edificação em estudo é provida pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A rede é trifásica e o edifício está cadastrado na categoria de clientes do Grupo B, que corresponde a baixa tensão.

O estudo de viabilidade buscou, inicialmente, obter o consumo médio mensal atual da edificação. Para tanto, foi analisado o histórico de consumo em uma fatura emitida pela Concessionária. Assim, a média do consumo atual, em KWh, foi calculada para o período de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019.

Em seguida, foi necessário estimar o acréscimo no consumo de energia elétrica após a transferência do ambulatório. Como o estabelecimento atualmente funciona em uma edificação que possui outros tipos de atendimentos assistenciais de saúde, como urgência, emergência e internação, e que dispõe de um único medidor de consumo, a fatura atual de energia não pôde ser utilizada como referência. Dessa forma, o acréscimo no consumo de energia do edifício em estudo foi estimado de acordo com o número de equipamentos previstos para o ambulatório, suas respectivas potências e tempo de uso, conforme Equação 1.

$$E_{eq} = (N \times P \times d \times t) / 1000$$

(Equação 1)

Onde:

$E_{eq}$  = energia consumida pelo equipamento [KWh/mês];

N = número de equipamentos [un];

P = potência do equipamento [W];



d = número de dias que o equipamento é usado durante o mês [dias];

t = tempo de uso do equipamento por dia [h].

De tal modo, o consumo de energia total do ambulatório foi previsto pelo somatório de energia consumida por cada tipo de equipamento. As potências das lâmpadas, do sistema de ar condicionado e do elevador foram obtidas junto aos fornecedores. Já para obter as potências dos demais equipamentos foi utilizada como referência a Planilha de Potência Média de Aparelhos Residenciais e Comerciais da CEMIG.

A estimativa considerou uma situação de consumo extremo, para dias de verão, onde todos os consultórios e salas administrativas estariam funcionando ao mesmo tempo, com ar condicionado, computadores, impressoras e televisores ligados e todas as lâmpadas acesas.

#### 4.1.1 Dimensionamento de sistema fotovoltaico

Através do software *SketchUp*, foi apurada a área de cobertura para a instalação do sistema que não estivesse sombreada nos solstícios de inverno e verão. A análise abarcou o período entre 9:00 e 15:00 horas, quando há maior intensidade de radiação solar (MARINOSKI, SALAMINI, RÜTHER, 2004). Da área útil obtida foram subtraídos 15% para circulação de manutenção. A Potência do sistema foi obtida pela Equação 2:

$$P = A \times \eta$$

(Equação 2)

Onde:

P = Potência [KW];

A = Área [m<sup>2</sup>];

$\eta$  = eficiência dos módulos

De posse do valor da potência, se calculou o número de módulos do sistema, conforme Equação 3.

$$Nm = (P / Wp) \times 1000$$

(Equação 3)

Onde:

Nm = Número de módulos necessários [un]

Wp = Potência pico do modelo fotovoltaico [Wp]

Para o cálculo da Energia Compensada Diária, foi obtido o valor da irradiação solar diária média do local. O estudo convencionou a instalação dos painéis voltada para a direção Norte, inclinação 20°. De posse das coordenadas geográficas da edificação, foi obtido o valor para as Horas de Sol Pico (HSP) de Belo Horizonte para o plano dos módulos, através do programa *SunData v. 3.0* (CRESESB, 2019). Foi estimada uma eficiência de 80% para o sistema, devido às perdas na geração e transmissão da potência (EQUAÇÃO 4):

$$ECD = HSP \times P \times 0,8$$

(Equação 4)

Onde:

ECD = Energia compensada diária [KWh/dia]

HSP = Hora Sol Pico [KWh/m<sup>2</sup>dia]

P = Potência [KW]

Por fim, de posse da ECD foi possível obter o valor para a Energia Compensada Mensal (ECM).

#### 4.1.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro

Inicialmente foi realizada uma pesquisa de mercado sobre os valores praticados por três empresas mineiras. Os custos incluíram instalação, painéis, inversores, estruturas de suporte e demais componentes de um sistema fotovoltaico.

A estimativa do investimento inicial possibilitou calcular o *payback* simples, a partir da tarifa atual da CEMIG por kWh, já considerados os impostos (EQUAÇÃO 5). O *payback* simples considera apenas o valor inicial investido para a instalação do sistema, sem considerar o valor do dinheiro no tempo.

$$\text{PAYBACK} = I / (\text{ECM} \times T)$$

(Equação 5)

Onde:

PAYBACK = Retorno financeiro [meses]

I = Investimento [R\$]

ECM = Energia compensada mensal [KWh/mês]

T = Valor da tarifa da Cemig [R\$]

## 4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL

A concessionária responsável pelo abastecimento de água da edificação em análise é a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Para o estudo de viabilidade, foi necessário obter o consumo médio mensal atual de água através de consultas às faturas emitidas de janeiro a dezembro de 2018.

Com o intuito de estimar o acréscimo do consumo de água após a conclusão da obra em andamento, foi realizada uma previsão do número de futuros usuários do ambulatório. Assim, o método utilizado separou os usuários em três categorias: funcionário administrativo, profissional de saúde e paciente/acompanhante.

O cálculo do consumo de água dos profissionais administrativos considerou o uso da copa de funcionários e dos equipamentos sanitários para a higiene pessoal. Já para os profissionais de saúde, como a escala de trabalho varia de acordo com os dias da semana e com o agendamento de consultas, foi considerado um profissional por consultório/sala de exame por dia. Logo, considerou-se que cada médico lava as mãos antes de cada consulta e após a última consulta. Para estes profissionais, além do uso previsto dos lavatórios para atendimentos, foi considerado o uso da copa de funcionários e dos banheiros.

O consumo dos pacientes e acompanhantes foi calculado separadamente por ser uma categoria de usuários que permanecem por menor tempo na edificação. A estimativa considerou um acompanhante por paciente e o uso da água para higiene pessoal. O consumo mensal para cada perfil de usuário por equipamento foi dado pela Equação 6:

$$C_m = N_u \times f \times v \times t$$

(Equação 6)

Onde:

$C_m$  é o consumo mensal por perfil de usuário por equipamento [L/dia];

$N_u$  é o número de usuários dentro da categoria [un];

$f$  é a frequência de uso do equipamento [usos/dia];

$v$  é a vazão do equipamento [L/s];

$t$  é o tempo de uso do equipamento por acionamento [s].

Como serão adquiridos novos equipamentos para atender ao ambulatório, a vazão de cada equipamento teve como referência os dados constantes na NBR 5626 de 1998 – Instalação Predial de Água Fria (ABNT, 1998). A frequência e o tempo de uso pelos usuários foram baseados no Manual para Aplicação do RTQ-C para edifícios comerciais, de serviços e públicos (PROCEL, 2017).

Por fim, foi realizada a estimativa de consumo de água para a limpeza do ambulatório, com base nos manuais de higienização e limpeza elaborados pelo Conselho Nacional de Secretários de Saúde (CONASS, 2015) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2012).

Dentre as diversas técnicas de limpeza presentes nos dois manuais, o cálculo do consumo de água considerou a “técnica dos dois baldes”. Esta técnica consiste no uso de dois baldes de cores diferentes, um contendo uma solução detergente e outro com água limpa. A solução dos baldes deve ser trocada a cada ambiente. Para o processo de limpeza também são utilizados panos de chão, rodo, ou *mop*, sendo proibido o uso de vassouras em área hospitalar.

Os manuais estabelecem dois tipos de limpeza para os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde: a limpeza concorrente e a limpeza terminal. A primeira trata-se da limpeza diária, realizada em todos os setores dos estabelecimentos. Já a segunda, é uma limpeza mais completa, que inclui a desinfecção periódica das áreas, de acordo com a criticidade de cada ambiente, com data e horários pré-estabelecidos.

#### 4.2.1 Dimensionamento de sistema de aproveitamento de água pluvial

Este trabalho utilizou como fonte para o dimensionamento do sistema a NBR15527 (ABNT, 2007), que trata dos requisitos para o aproveitamento da água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. A norma descreve seis métodos para o dimensionamento de reservatórios: Rippl, Simulação, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano.

O método utilizado neste trabalho foi o da Simulação, que parte de um volume pré-estabelecido para posterior análise da eficiência do sistema. A seguir, as Equações 7 e 8 mostram a metodologia de cálculo apresentada pela ABNT (2007):

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad \text{(Equação 7)}$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad \text{(Equação 8)}$$

Sendo que:  $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

$S(t)$  = Volume de água no reservatório no tempo  $t$  [ $m^3$ ];

$S(t-1)$  = Volume de água no reservatório no tempo  $t-1$  [ $m^3$ ];

$Q(t)$  = Volume de chuva no tempo  $t$  [ $m^3$ ];

$D(t)$  = Consumo ou demanda no tempo  $t$  [ $m^3$ ];

$V$  = Volume do reservatório fixado [ $m^3$ ];

$C$  = Coeficiente de escoamento superficial [ $m^3$ ].

$P$  = Precipitação da chuva [mm]

$A$  = Área de captação

Para a aplicação do método foram consultados os dados pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia para o período de 1981 a 2010 (INMET, 2018).

O volume do reservatório foi fixado conforme a área disponível no terreno, com o uso de cisterna subterrânea e rede pressurizada. A área de captação foi estabelecida de acordo com o diagrama de cobertura da edificação próximo à localização prevista para a cisterna.

A demanda visa atender ao volume de água mensal para irrigação de jardins e lavagem de piso do subsolo e das áreas externas. Para ser utilizada em

áreas internas com fluxo de pacientes, a água pluvial deve passar por tratamento especial que atenda a parâmetros químicos e microbiológicos que garantam a saúde dos usuários, tendo em vista tratar-se de uma edificação para atendimento de saúde.

Não foi considerado o uso de água pluvial para a descarga de vasos sanitários porque todas as instalações sanitárias do prédio estão concluídas e a adequação da rede, além de onerosa, exigiria uma interrupção nos atendimentos na UPA. Logo, o estudo esteve direcionado para a possibilidade que teria maior facilidade de implantação.

#### **4.2.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro**

O investimento previsto para o sistema foi obtido através de uma pesquisa de mercado que abarcou três empresas brasileiras. Foi considerado o valor dos reservatórios, com os kits de acessórios para captação da água, acrescido de 50% para as despesas com mão de obra e equipamentos necessários para a instalação.

Para o cálculo do *payback* simples (EQUAÇÃO 9) foi considerada a tarifa de R\$10,942/m<sup>3</sup> para a Categoria Pública com consumo superior a 200m<sup>3</sup> (ARSAE-MG, 2018).

$$\text{PAYBACK} = I / (\text{AP} \times T)$$

(Equação 9)

Onde:

PAYBACK = Retorno financeiro [anos]

I = Investimento [R\$]

AP = Água pluvial coletada por ano [m<sup>3</sup>]

T = Valor da tarifa da Copasa [R\$]

#### **4.3 ANÁLISE DOS SISTEMAS A PARTIR DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO REFERENCIAL AQUA.**

Para a avaliação dos sistemas dimensionados foram utilizados os critérios presentes no Referencial Técnico de Certificação AQUA para Edifícios do Setor de Serviços – Organizações de Saúde. Assim, foi elaborada uma planilha comparativa entre os critérios de avaliação, níveis de desempenho e pontuação contidos no

referencial e os resultados obtidos para os sistemas fotovoltaico e de captação de água pluvial.

Dessa forma, para a análise do sistema fotovoltaico foram observados os critérios de avaliação presentes Categoria 4 do referencial, que trata da Gestão da Energia. A análise se restringiu aos critérios da subcategoria 4.2 – Redução de Energia Primária, com ênfase aos níveis de desempenho para o recurso às energias renováveis locais.

Embora o referencial enfatize o uso de aquecimento solar da água, o mesmo não foi considerado no presente trabalho devido à natureza dos estabelecimentos em estudo (Unidade de Pronto Atendimento e Ambulatório) não contemplar internação, o que reduz significativamente a demanda por água quente em relação a hospitais. Além disso, serviços que demandam o uso de água quente, como preparo de alimentos, lavagem de roupas e esterilização de materiais não são realizados na edificação em estudo.

Já para a análise do sistema de captação de água pluvial, foram utilizados os critérios de avaliação da Categoria 5 (Gestão da Água). A análise se reduziu aos critérios da subcategoria 5.1 – Redução do Consumo de Água Potável, voltados para o aproveitamento de água pluvial.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Pela análise do histórico do consumo presente na fatura emitida pela Concessionária, observou-se que a edificação atualmente consome em média 28.062KWh/mês. A Tabela 1 apresenta os resultados da estimativa para o acréscimo do consumo de energia da edificação quando o Ambulatório estiver em funcionamento.

Tabela 1 - Estimativa do consumo mensal de energia para o Ambulatório

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Dias de uso	Tempo de uso (h)	Total (KWh/mês)
Sistema ar cond. VRF	1	80940	21	12	20.396,88
Elevador de macas	1	10700	21	10	2247
Computador	63	250	21	12	3969
Impressora	48	90	21	1	90,72
Televisão	4	200	21	12	201,6
Geladeira	1	250	21	16	84
Lâmpadas led	62	10	21	12	156,24
Lâmpadas led	362	20	21	12	1.824,48
<b>Total</b>					<b>28.969,92</b>

Assim, com a transferência do ambulatório para a edificação em estudo, haverá um acréscimo mensal de aproximadamente 28.970KWh no consumo de energia elétrica, o que corresponde a um aumento de 103%. Dessa forma, o consumo total da edificação passará a ser de, aproximadamente, 57.032 KWh/mês.

#### 5.1.1 Dimensionamento de sistema fotovoltaico para a edificação

O estudo de sombras (FIGURAS 5 - 8) mostrou que a instalação dos painéis é viável apenas na cobertura do Bloco A. Dos 955m<sup>2</sup> de cobertura do Bloco A, foram abatidos 115m<sup>2</sup> sombreados pelo reservatório superior. Do valor obtido foram subtraídos 15% para área de circulação. A área resultante para os painéis é de 714m<sup>2</sup> (FIGURA 9). Foram considerados módulos de 330Wp, 72 células e eficiência 17%.



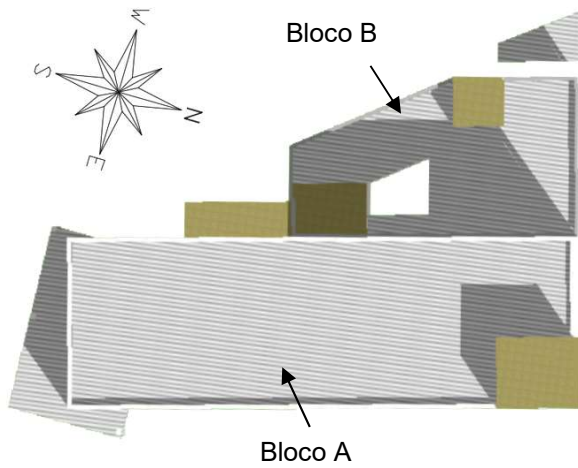


Figura 5 - Estudo de sombras: Solstício de inverno (9:00h)

Fonte: Elaborado pela Autora

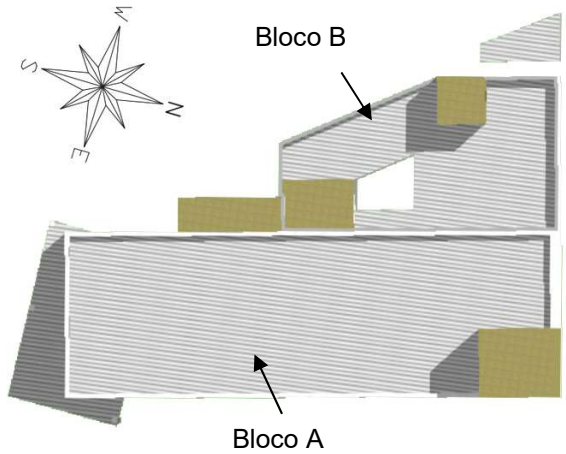


Figura 6 - Estudo de sombras: Solstício de inverno (15:00h)

Fonte: Elaborado pela Autora

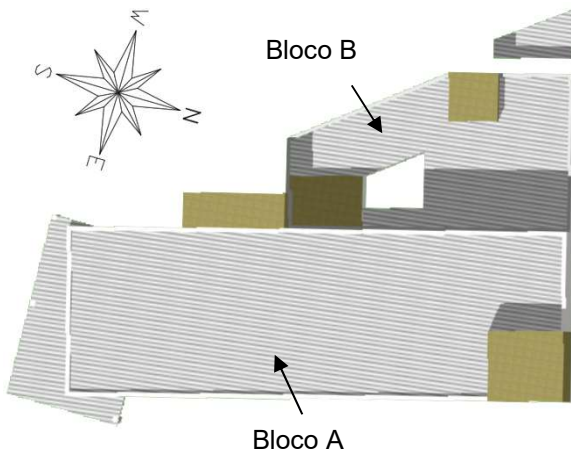


Figura 7 - Estudo de sombras: Solstício de verão (9:00h)

Fonte: Elaborado pela Autora

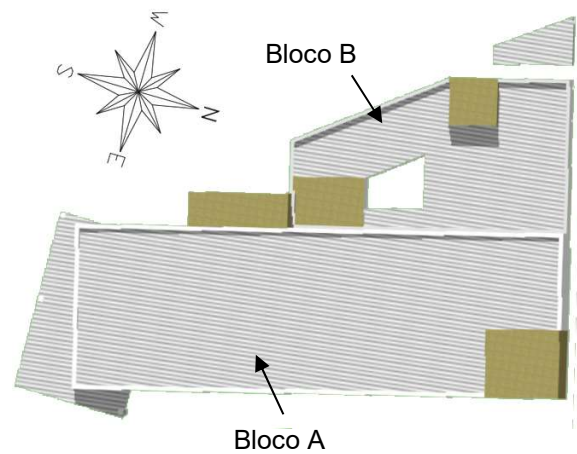


Figura 8 - Estudo de sombras: Solstício de verão (15:00h)

Fonte: Elaborado pela Autora

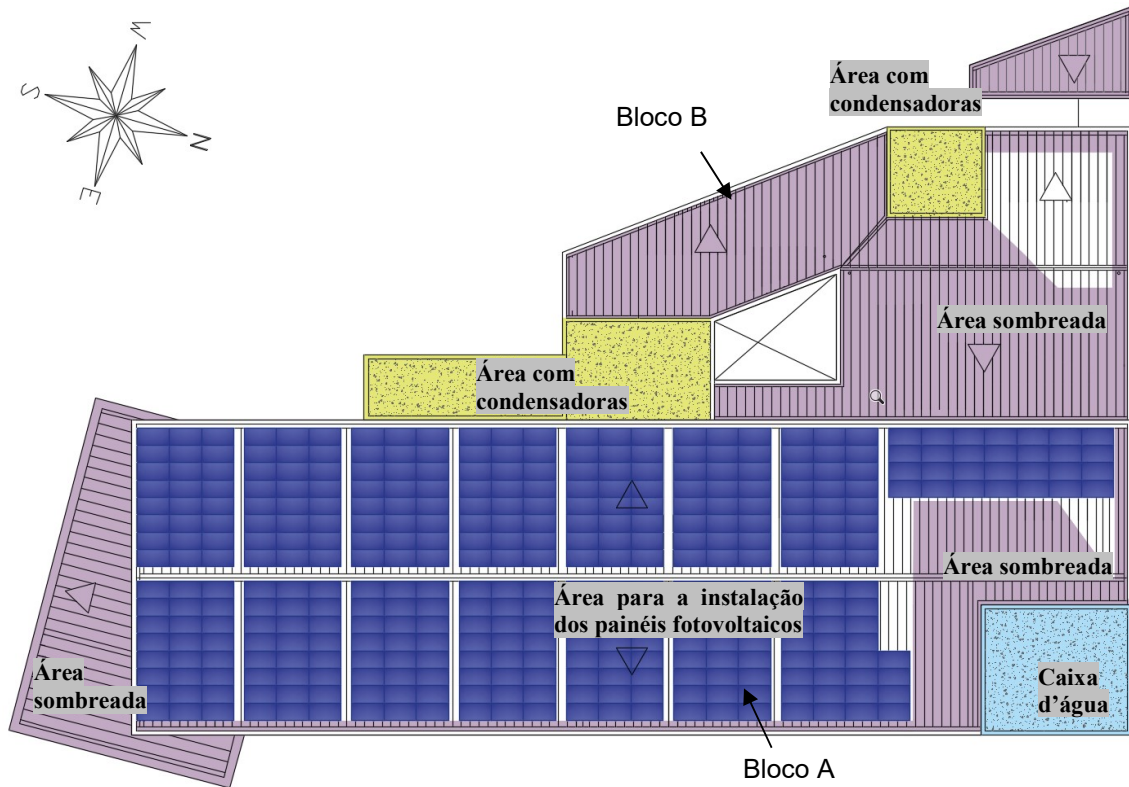


Figura 9 - Diagrama de cobertura com a área disponível para a instalação dos painéis fotovoltaicos

Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 2 apresenta os resultados para o dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica:

Tabela 2 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico para a edificação

Área disponível [m <sup>2</sup> ]	Eficiência dos módulos [%]	Potência [KW]	Nº de módulos [330Wp]	Hora sol pico BH 20°N [KWh/m <sup>2</sup> dia]	Eficiência do sistema [%]	Energia compensada diária [KWh/dia]	Energia compensada mensal [KWh/mês]
714	17	121,38	368	5,36	80	520,47	15.614,3

O sistema fotovoltaico conseguiria produzir, aproximadamente, 15.614,3KWh/mês, o que seria capaz de suprir, 27,38% do consumo de energia previsto para a edificação após a transferência do ambulatório.

### 5.1.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro do sistema fotovoltaico

Os orçamentos obtidos pela pesquisa de mercado foram apresentados de forma global pelas empresas consultadas. De acordo com estudos realizados pelo Instituto para Desenvolvimento de Energias Renováveis na América Latina (IDEAL,

2018), na composição dos custos de sistemas fotovoltaicos, em geral, 38% correspondem ao investimento nos painéis; 21% aos inversores; 14% às despesas com projeto e instalação; 10% às estruturas metálicas de suporte; 10% a despesas administrativas; e 7% a demais componentes do sistema.

Obteve-se um valor de investimento inicial de R\$434.826,86. De posse do valor tarifário praticado pela Cemig, foi possível obter o valor aproximado da economia mensal e anual gerada pelo sistema conforme Tabela 3. Com isso, o *payback* simples foi calculado em 2 anos e 11 meses (35 meses).

Tabela 3 - Retorno financeiro do sistema fotovoltaico dimensionado

Investimento [R\$]	Tarifa Cemig [R\$]	Economia mensal [R\$]	Economia anual [R\$]	Retorno financeiro [meses]
434.826,86	0,80	12.492,91	149.914,89	34,81

BOGONI e PAN (2018) salientam que durante a vida útil dos módulos fotovoltaicos, estimada entre 25 e 30 anos, será necessário novo investimento para a substituição de alguns componentes como é o caso dos inversores que têm vida útil entre 10 e 15 anos. Este valor não foi computado na presente análise, o que pode aumentar o tempo de retorno estimado.

## 5.2 ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL

No ano de 2018 o atual Ambulatório de Especialidades Médicas ofereceu cerca de 6.857 consultas/mês, o que equivale a 229 consultas/dia. O novo estabelecimento terá 43 salas de consultórios/exames e a uma média de 5,32 consultas/consultório/dia. Estão previstas sete salas administrativas, com área de trabalho para 23 funcionários.

O histórico do consumo de água de 2018 da edificação em estudo indica que, naquele ano, foram consumidos, em média, 499m<sup>3</sup> de água por mês. As Tabelas 4, 5 e 6 exibem os resultados da estimativa para o consumo de água do ambulatório após a transferência.

Tabela 4 - Estimativa do consumo mensal de água para o ambulatório por usuários

Perfil	Equipamentos	Usuários	Usos/dia	Vazão (L/s)	Tempo (s)	Consumo (L/dia)	Consumo (m³/dia)
Funcionários administrativos	Vaso sanitário	23	3	1,7	3,5	410,55	0,41
	Lavatório	23	3	0,15	15	155,25	0,16
	Pia de copa	23	1	0,25	15	86,25	0,09
	<b>Total</b>					<b>652,05</b>	<b>0,65</b>
Profissionais de saúde	Vaso sanitário	43	3	1,7	3,5	767,55	0,77
	Lavatório	43	9,32	0,15	15	901,71	0,90
	Pia de copa	43	1	0,25	15	161,25	0,16
	Pia de dejetos	43	1	1,7	3,5	255,85	0,26
<b>Total</b>					<b>2.086,36</b>	<b>2,09</b>	
Pacientes e acompanhantes	Vaso sanitário	458	0,5	1,7	3,5	1.362,55	1,36
	Lavatório	458	0,5	0,15	15	515,25	0,52
	<b>Total</b>					<b>1.877,8</b>	<b>1,88</b>
<b>Consumo total - usuários</b>						<b>4.616,21</b>	<b>4,61</b>

Tabela 5 - Estimativa do consumo de água para o ambulatório - limpeza

Categoria	Área [m²]	Nº baldes	Volume do balde [L]	Rendimento [balde/ m²]	Frequência limpeza concorrente	Frequência limpeza terminal	Consumo (L/dia)	Consumo (m³/dia)
Área semicrítica	426	2	16	10	1,5	0,07	2.136	2,14
Área não crítica	510	2	16	10	1	0,03	1.686	1,69
<b>Consumo total - limpeza</b>							<b>3.822</b>	<b>3,82</b>

Tabela 6 - Estimativa do consumo total de água para o ambulatório

Consumo total - Ambulatório	Consumo [L]	Consumo [m³]
Total diário	8.438	8
Total mensal	177.204	177
Total anual	2.126.449	2.126

De tal modo, a transferência do ambulatório acarretará um aumento próximo de 177m³ no consumo mensal de água. O resultado corresponde a um acréscimo de 35,5%. Logo, o consumo total de água da edificação passará a ser de, aproximadamente, 676m³/mês e 8.112m³/ano.

### 5.2.1 Dimensionamento de sistema de captação de água pluvial para a edificação – resultados

As Tabelas 7 e 8 exibem, respectivamente, as estimativas para as demandas de água para irrigação e para limpeza do piso do subsolo e das áreas externas da edificação.

Tabela 7 - Estimativa da demanda de água para irrigação

Categoria	Área [m <sup>2</sup> ]	Volume de água [L/m <sup>2</sup> ]	Frequência	Consumo [L/dia]	Consumo [m <sup>3</sup> /dia]	Consumo [m <sup>3</sup> /mês]
Irrigação	292	1,5	0,50	219	0,22	7

Tabela 8 - Estimativa da demanda de água para limpeza do piso do subsolo e das áreas externas da edificação

Categoria	Área [m <sup>2</sup> ]	Volume de água [L/m <sup>2</sup> ]	Frequência limpeza concorrente	Frequência limpeza terminal	Consumo [L/dia]	Consumo [m <sup>3</sup> /dia]	Consumo [m <sup>3</sup> /mês]
Manutenção/vestiários /circulação	287	3,2	1,00	0,03	949	0,95	28
Estacionamento	1255	1,5	0,29		538	0,54	16
Área externa	634	1,5	0,29		272	0,27	8
Total					1759	1,76	53

Os resultados indicam que a demanda mensal de água para irrigação e limpeza de pisos do subsolo e das áreas externas seria de, aproximadamente, 60m<sup>3</sup>. O valor encontrado corresponde a 8,88% do consumo total de água previsto para a edificação após a transferência do ambulatório.

A área de captação utilizada para o cálculo foi 810m<sup>2</sup> e corresponde ao somatório das áreas de cobertura com caimento nas proximidades do local previsto para a instalação da cisterna, conforme mostra a Figura 5.

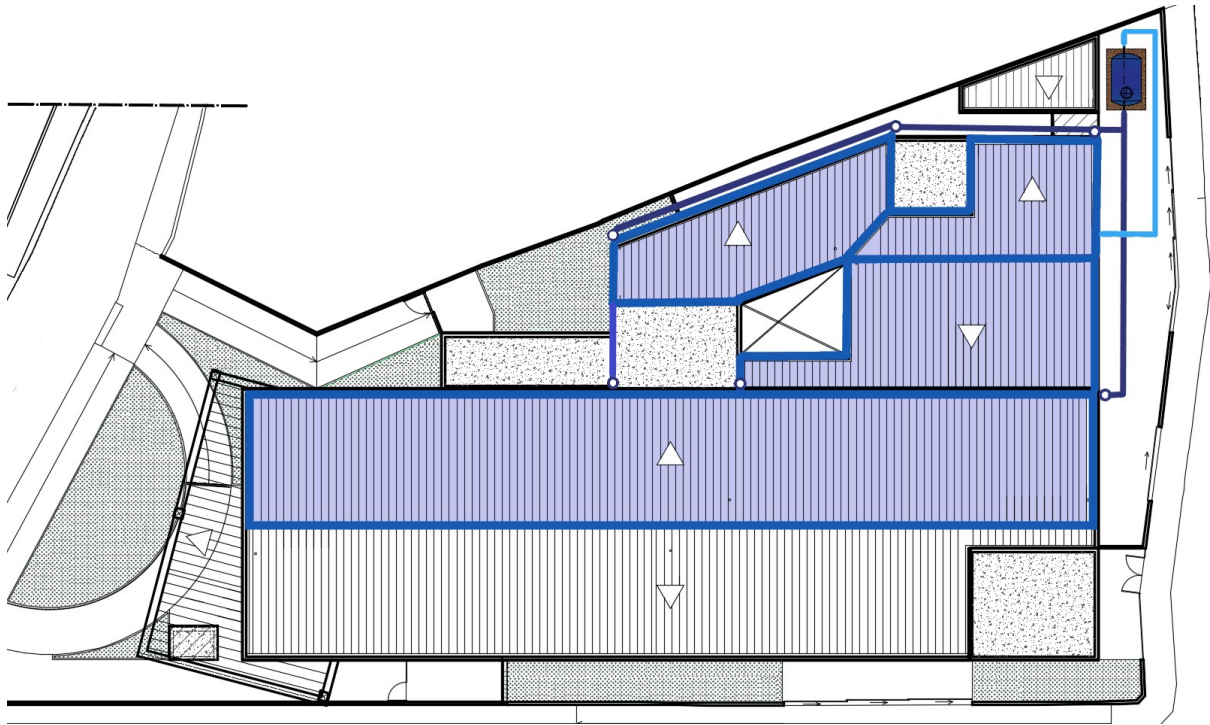


Figura 10 - Diagrama de cobertura com a área de captação de água pluvial e com a localização do reservatório

Fonte: Elaborado pela autora

O reservatório teve o volume estimado em  $10\text{m}^3$ . A eficiência do sistema está exposta na Tabela 9, adaptada de Thomaz (2007):

Tabela 9 - Dimensionamento de sistema de aproveitamento de água pluvial

Meses	Chuva média	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva em $\text{m}^3$ $c=0,8$	Volume do Reserv. fixado	Volume do Reserv. no tempo t-1	Volume do Reserv. no tempo t	Overflow	Provisão de água externa
Jan.	329,1	60	810	213	10	0	10	143	0
Fev.	181,4	60	810	118	10	10	10	58	0
Mar.	198	60	810	128	10	10	10	68	0
Abr.	74,7	60	810	48	10	10	-2	0	2
Mai	28,1	60	810	18	10	0	-42	0	42
Jun.	9,7	60	810	6	10	0	-54	0	54
Jul.	7,9	60	810	5	10	0	-55	0	55
Ago.	14,8	60	810	10	10	0	-50	0	50
Set.	55,5	60	810	36	10	0	-24	0	24
Out.	104,7	60	810	68	10	0	8	0	0
Nov.	239,8	60	810	155	10	8	10	93	0
Dez.	358,9	60	810	233	10	10	10	173	0
<b>Total</b>	<b>1.603,0</b>	<b>720</b>		<b>1038</b>				<b>535</b>	<b>226</b>

Logo, o sistema é capaz de suprir a demanda por um período de 6 meses ao ano. Haverá necessidade de suprimento de água externo nos meses de pouca chuva, quando o sistema não atenderá à demanda mensal estimada para irrigação e lavagens de pisos do subsolo e das áreas externas. O volume de 226m<sup>3</sup> corresponde ao valor total de água externa necessária, o que equivale a 31,45% da demanda anual. Assim, serão aproveitados 494m<sup>3</sup>/água/ano (68,55% da demanda; 6% do consumo total de água potável da edificação).

### 5.2.2 Estimativa do investimento e do retorno financeiro do aproveitamento da água pluvial

A pesquisa de mercado sobre os custos da cisterna de 10m<sup>3</sup>, equipada com os acessórios necessários para a instalação do sistema, chegou a um valor médio de R\$12.301,64. A este valor foram acrescentados R\$6.150,83 para despesas com mão de obra demais materiais e equipamentos fundamentais à instalação. A Tabela 10 apresenta os resultados:

Tabela 10 - Investimento e retorno financeiro para o sistema de aproveitamento de água pluvial

Volume de água economizado ao ano [m <sup>3</sup> ]	Investimento [R\$]	Tarifa Copasa [R\$/m <sup>3</sup> ]	Retorno financeiro [anos]
494	18.452,47	10,942	3,41

Os resultados indicam um retorno financeiro próximo de 3 anos e 5 meses. O volume de água poupado ao ano multiplicado pelo valor da tarifa atual cobrada pela Copasa indica uma economia anual de R\$5.405,25.

### 5.3 ANÁLISE DOS SISTEMAS A PARTIR DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO REFERENCIAL AQUA.

O Quadro 1 apresenta uma avaliação dos resultados obtidos para os dois sistemas, a partir dos critérios e níveis de desempenho do Referencial AQUA para o uso de energias renováveis e para a redução do uso de água potável através do aproveitamento da água da chuva. B representa nível bom e E representa nível excelente. Nos itens analisados são indicados referenciais apenas para B e E, não havendo indicação para nível S.

Quadro 1 - Análise dos sistemas dimensionados a partir dos critérios estabelecidos no Referencial AQUA

	Critérios de avaliação		Desempenho		Resultados			
			Nível	Pontos em E	Critérios de avaliação	Desempenho		
						Nível	Pontos em E	
Sistema Fotovoltaico	Realização de estudo de viabilidade sobre o uso das energias renováveis locais		B		Estudo de viabilidade realizado	B		
	Exploração de modalidades energéticas locais de origem renovável	Explicitação da porcentagem de cobertura das necessidades pelas energias locais de origem renovável	E	1	Atende = 27,38%	E	1	
		Justificativa da pertinência da modalidade			Porcentagem de cobertura das necessidades ( $\geq 5\%$ )			Atende
					Uso final para o qual a modalidade é utilizada			Atende
Eficácia dos equipamentos					Atende			
Impacto ambiental global da solução energética					Atende			
Tempo de retorno do investimento ( $< 10$ anos)	Atende = 2 anos e 11 meses							
Pontuação complementar - Nível de desempenho da modalidade	Produção de eletricidade acima de 25KWh/ano/m <sup>2</sup>	E	2	Atende = 43KWh/ano/m <sup>2</sup>	E	2		
Sistema - Água Pluvial	Limitar o uso de água potável	Implantação de um sistema de recuperação de águas pluviais para os usos que não necessitem das características de potabilidade	E	4	Atende	E	4	
	Garantir economia de água potável para irrigação dos espaços verdes e limpeza das áreas	Respeitar requisitos regulamentares	B		Atende	B		
Medidas justificadas e satisfatórias para economizar água potável para irrigação dos espaços verdes e limpeza das áreas ( $\geq 40\%$ de economia/consumo total)		E	5	Não atende				

O Quadro 1 mostra que o sistema fotovoltaico atingiu todos os requisitos para nível Excelente no uso de energias renováveis: o estudo de viabilidade foi realizado e o sistema conseguiu cobrir 27,38% das necessidades; a porcentagem de cobertura está acima do valor mínimo citado no referencial (5%); o uso final da modalidade é pertinente, devido ao uso contínuo e simultâneo de vários equipamentos, o que gera alto consumo de energia elétrica; embora o referencial



não explicita um parâmetro de eficácia para equipamentos, os módulos atuais de 330Wp possuem eficiência próxima de 17% e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia classifica como “A” módulos com eficiência energética acima de 13,5% (INMETRO, 2017); a energia solar é uma fonte renovável e as placas possuem vida útil longa, onde a geração de energia limpa compensa o impacto do processo de fabricação dos módulos; o tempo de retorno financeiro é inferior a 10 anos; a produção de eletricidade de 43KWh/ano/m<sup>2</sup> está acima no valor mínimo estipulado pelo referencial para a obtenção de pontuação.

O referencial garante 4 pontos para a implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial. Porém, o sistema não conseguiu alcançar todos requisitos para o nível Excelente porque a economia de água potável correspondeu a apenas 6% do consumo total previsto para a edificação e o referencial recomenda no mínimo 40% de economia global dos recursos hídricos.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados apontam para a importância de estudar a viabilidade de investir em sustentabilidade para edificações de saúde, através de um referencial. O estudo compreendeu a análise de duas medidas sustentáveis, sendo uma na gestão da energia e outra na gestão da água.

As estimativas mostraram que transferência do ambulatório acarretará um aumento considerável nos consumos de água e energia do edifício em estudo. Com isso, ficou comprovada a necessidade de buscar alternativas sustentáveis que reduzam os impactos ambientais gerados pelo uso da edificação.

A instalação do sistema fotovoltaico foi considerada viável, pois o sistema apresentou economia considerável e período de retorno de investimento pequeno. Como a estimativa de consumo foi dimensionada para dias de verão, quando o uso de aparelhos de ar condicionado é mais frequente, nas demais estações do ano o sistema poderá gerar uma economia maior.

Por outro lado, o sistema de aproveitamento de água pluvial não alcançou o nível Excelente de desempenho estipulado pelo Referencial AQUA, em grande parte, devido à baixa demanda utilizada para o dimensionamento, que considerou o uso de água pluvial apenas para irrigação e lavagem de pisos das áreas externas e subsolo. Cabe ressaltar que a análise do Referencial AQUA avalia a eficiência do sistema a partir do consumo global da edificação. Assim, devido ao grande porte do empreendimento, a eficiência do sistema foi considerada relativamente baixa.

Entretanto, considerou-se que a implantação do sistema teria um custo razoável, com tempo de retorno de investimento inferior a cinco anos e que não necessitaria de intervenções significativas na rede hidrossanitária instalada. Com isso, independentemente do nível de desempenho atingido, seria interessante a implantação do sistema, associada a outras medidas descritas no referencial para a preservação dos recursos hídricos.

Por fim, o estudo mostrou que existem tecnologias capazes de reduzir os impactos ambientais de edificações, com curto tempo de retorno sobre o investimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.8p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5626: Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.41p.
- ALVES, W. C.; ZANELLA, L.; SANTOS, M. F. L. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. **Téchne: Como Construir.** Edição 133. Abril de 2008. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/133/artigo286496-1.aspx>>. Acesso em 10 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 482 de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 5 de maio de 2019.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Segurança do paciente em serviços de saúde: limpeza e desinfecção de superfícies.** Brasília: ANVISA, 2012.
- ARSAE-MG - AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MINAS GERAIS. Resolução ARSAE-MG 111, de 28 de junho de 2018. **Autoriza a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa a aplicar aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados as tarifas constantes do Anexo desta Resolução e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agencia-virtual/mais-servicos/atendimento-informacoes/tarifas-em-vigor-2018>>. Acesso em 25 de março de 2019.
- BITERCOURT, F. A sustentabilidade em ambientes de serviços de saúde: um componente de utopia ou de sobrevivência? In: CARVALHO, Antônio P. A. (Org.). **Quem tem medo da Arquitetura Hospitalar?** Salvador: Universidade

Federal da Bahia, 2006. p. 13-48.

BOGONI, J. J.; PAN, A. C. **Sistema fotovoltaico conectado à rede em um prédio residencial localizado em Porto Alegre**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. Desempenho Ambiental de Edificações: Cenário Atual e Perspectivas dos Sistemas de Certificação. **Revista Minerva**, v. 07, p. 45-52, 2010. Disponível em: <[http://www.fipai.org.br/Minerva%2007\(01\)%2006.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2007(01)%2006.pdf)>. Acesso em 24 de maio de 2019.

BUONO, L. N. **Diagnóstico de uso de água no Hospital Universitário de Londrina: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CEMIG. **Potência média de aparelhos residenciais e comerciais**. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/POT%C3%8ANCIA%20M%C3%89DIA%20DE%20APARELHOS%20RESIDENCIAIS%20E%20COMERCIAIS.pdf>>, acesso em 25 de fevereiro de 2019.

CHIVELET, N; SOLLA, I. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Tradução de Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CONASS – CONSELHO NACIONAL DE SECRETÁRIOS DE SAÚDE. **Manual de higienização e limpeza**. Brasília: CONASS, 2015. Disponível em: <<https://www.conass.org.br/liacc/wp-content/uploads/2015/02/MANUAL-DE-HIGIENIZACAO-E-LIMPEZA.pdf>>. Acesso em 28 de março de 2019.

COSTA, R. Água: um bem público de valor econômico, In: COSTA, R; Telles, D. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

CRESESB. Potencial Solar - SunData v 3.0. **CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**, 2019. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2019.

- GAUZIN-MULLER, D. **Arquitetura Ecológica**. Tradução de Celina Olga de Souza e Caroline Fretin de Freitas. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011
- GÓES, R. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.
- IDEAL – Instituto para Desenvolvimento de Energias Renováveis na América Latina. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. 2018. Disponível em: < [https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudofv2018\\_digital3](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2018_digital3)>. Acesso em 5 de julho de 2019.
- INMET -INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília: Edição Digital, 2018. Disponível em: <[https://www.inmet.gov.br/portal/normais\\_climatologicas/mobile/index.html#p=5](https://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=5)>. Acesso em 15 de março de 2019.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabela de eficiência energética –sistema de energia fotovoltaica – módulos**, 2017. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)>. Acesso em 10 de abril de 2019.
- LOBO, A.V. **Ferramenta de avaliação de sustentabilidade ambiental em edificações hospitalares na região metropolitana de Curitiba**. 269f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- MATOS, B. F. C. **Construção sustentável: Panorama nacional da certificação ambiental**. 121f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: Estudo de caso do Edifício sede do CREA-SC**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. P 678-691. São Paulo, 2004.
- MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-C Comercial, de serviço e público**. V4. Rio de Janeiro: Procel/Eletróbrás, 2017. Disponível:

[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual\\_20170411\\_Notas\\_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf)>. Acesso em: 15 de março de 2019.

- RAMALHO. **Proposta de aprimoramento dos quesitos de eficiência energética do sistema de certificação AQUA para habitações**. 106f. (Mestrado em Habitação, Planejamento e Tecnologia) – Dissertação Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, São Paulo, 2012.
- RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.
- SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. Produção de Edificações Sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 81-99, out. 2012.
- SANTOS, D. J. C. **Aplicação de medidas de eficiência hídrica em meio hospitalar: O caso do aproveitamento de águas pluviais**. 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ocupacional) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. 268f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- TOLEDO, A.F.; DEMAJOROVIC, J. Atividade hospitalar: impactos ambientais e estratégias de ecoeficiência. **Interfacehs**. São Paulo, v.1, n.2, dez 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v2-art4-portugues.pdf>> . Acesso em: 2 de maio de 2019.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis: Diretrizes básicas para um projeto**. 6º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva. Belo Horizonte: 2007. Disponível em: [http://abcmac.org.br/files/simposio/6simp\\_plinio\\_agua.pdf](http://abcmac.org.br/files/simposio/6simp_plinio_agua.pdf)> Acesso em 25 de março de 2019.
- VANZOLINI. **Regras de certificação AQUA-HQE certificado pela Fundação**

**Vanzolini e Cerway para edifícios em construção**, 2014. Disponível em [https://www.vanzolini.org.br/download/Regras\\_de\\_certificacao.pdf](https://www.vanzolini.org.br/download/Regras_de_certificacao.pdf). Acesso em: 20 de março de 2019.

\_\_\_\_\_. **Certificação AQUA-HQE, 2019.** Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe>. Acesso em: 20 de março de 2019.

\_\_\_\_\_. **Referencial técnico de certificação “Edifícios do setor de serviços – Processo AQUA - Organizações de Saúde.** São Paulo: FCAV, 2011. Disponível em: [https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2018/08/RT-organizac%CC%A7o%CC%83es de saude v0 junho2011.pdf](https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2018/08/RT-organizac%CC%A7o%CC%83es%20de%20saude%20v0%20junho2011.pdf)>. Acesso em 26 de fevereiro de 2019.

ZILLES, R.; MACÊDO, W.; GALHARDO, M. A.; OLIVEIRA, S. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** 2ª reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.