

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA DE  
EDIFICAÇÕES

LAÍS DE GODOI SILVA

JUIZ DE FORA

2025

DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA DE  
EDIFICAÇÕES

LAÍS DE GODOI SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Juiz de Fora, como  
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Construção Civil

Orientador: Pedro Kopschitz Xavier Bastos

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2025

DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA DE  
EDIFICAÇÕES

LAÍS DE GODOI SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução N° 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 28 de fevereiro de 2025

Por:

Documento assinado digitalmente  
 PEDRO KOPSCHITZ XAVIER BASTOS  
Data: 24/03/2025 09:28:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Pedro Kopschitz Xavier Bastos (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Documento assinado digitalmente  
 CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO  
Data: 26/03/2025 09:23:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Celso Bandeira de Melo Ribeiro (Examinador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Documento assinado digitalmente  
 ANTONIO EDUARDO POLISSENI  
Data: 26/03/2025 17:29:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Antônio Eduardo Polisseni (Examinador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## **DEDICATÓRIA**

Para minha mãe, que me ensinou a contar nos dedos

Para meu pai, que me ensinou a contar de cabeça

Para minha avó, que me ensinou a contar com Deus

Para meus amigos e amores, que são com quem eu conto

Para menina que eu fui

Para a mulher que me tornarei

Foi difícil, mas aprendemos a construir pontes que alcançam sonhos.

*“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”*

*Ayrton Senna*

## RESUMO

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais, incluindo a água, essencial em diversas etapas produtivas. A pegada hídrica dos materiais de construção é um indicador relevante para avaliar o impacto ambiental das edificações. Este trabalho busca quantificar e comparar o consumo de água incorporado em diferentes materiais e soluções construtivas utilizadas em construções, considerando as fases de extração de matéria prima e produção sem fábrica.

Para essa análise foi adaptada uma planilha de cálculo da pegada hídrica dos materiais de construção, adaptando-se a original CasaCO, desenvolvida originalmente para pegada de carbono de edificações. A ferramenta permite estimar o consumo de água de uma edificação considerando os coeficientes de pegada hídrica (CPH) dos materiais empregados, viabilizando comparações e auxiliando na tomada de decisões mais sustentáveis.

Além da avaliação quantitativa, o estudo discute soluções construtivas que podem contribuir para uma gestão hídrica mais eficiente, como certificações ambientais, o uso de materiais com menor pegada hídrica e práticas de reaproveitamento de água. Os resultados reforçam a importância da consideração da pegada hídrica no planejamento e execução de obras, promovendo uma construção civil mais sustentável.

**Palavras-chave:** Construção civil, pegada hídrica, sustentabilidade, materiais de construção, consumo de água.

## **ABSTRACT**

The construction industry is one of the largest consumers of natural resources, including water, which is essential in various production stages. The water footprint of construction materials is a relevant indicator for assessing the environmental impact of buildings. This study aims to quantify and compare the embedded water consumption in different materials and construction solutions used in buildings, considering the stages of raw material extraction and production within the factory.

For this analysis, a water footprint calculation spreadsheet for construction materials was developed, adapting the original CasaCO tool, which was designed for the carbon footprint of buildings. The tool enables the estimation of a building's water consumption by considering the water footprint coefficients (WFC) of the materials used, allowing comparisons and supporting more sustainable decision-making.

In addition to the quantitative assessment, the study discusses construction solutions that can contribute to more efficient water management, such as environmental certifications, the use of materials with a lower water footprint, and water reuse practices. The results highlight the importance of considering the water footprint in the planning and execution of construction projects, promoting a more sustainable construction industry.

**Keywords:** Construction industry, water footprint, sustainability, construction materials, water consumption.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Distribuição mundial de água.....                                     | 12 |
| Figura 2 – Representação esquemática dos componentes de uma pegada hídrica. .... | 17 |
| Figura 3 – Abordagem da pegada hídrica incluída no presente estudo. ....         | 26 |
| Figura 4 – Exemplo de solução construtiva para piso. ....                        | 26 |
| Figura 5 – Planta baixa edificação para estudo de caso.....                      | 31 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Coeficiente de pegada hídrica de materiais de construção. ....                                | 25 |
| Tabela 2 – Opções de configuração de serviços para a etapa de piso (retirada da planilha CasaCO-H). .... | 27 |
| Tabela 3 – Escolha dos materiais e espessura para um tipo de piso (retirada da planilha CasaCO-H). ....  | 27 |
| Tabela 4 – Exemplo de cálculo de PH para laje. ....                                                      | 29 |
| Tabela 5 – Exemplo de cálculo de PH para contrapiso. ....                                                | 29 |
| Tabela 6 – Exemplo de cálculo de PH para argamassa colante. ....                                         | 29 |
| Tabela 7 – Exemplo de cálculo de PH para revestimento cerâmico. ....                                     | 30 |
| Tabela 8 – Dados de entrada - Quantitativo da edificação. ....                                           | 32 |
| Tabela 9 – Configuração das paredes – Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H).<br>.....             | 32 |
| Tabela 10 – Configuração da etapa de pisos - Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H). ....          | 33 |
| Tabela 11 – Interface inicial da planilha para Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H). ....        | 33 |
| Tabela 12 – Configuração das paredes – Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H).<br>.....            | 34 |
| Tabela 13 – Configuração da etapa de pisos - Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H). ....          | 34 |
| Tabela 14 – Interface inicial da planilha para Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H). ....        | 35 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1– Distribuição do consumo de água na construção civil. ....                                          | 19 |
| Gráfico 2 – Resultado comparativo - Pegada hídrica total por edificação. ....                                 | 37 |
| Gráfico 3 – Pegada hídrica - Participação percentual por etapa de obra. ....                                  | 38 |
| Gráfico 4 – Resultado comparativo - Pegada hídrica por unidade de área construída<br>(L/m <sup>2</sup> )..... | 39 |

## SUMÁRIO

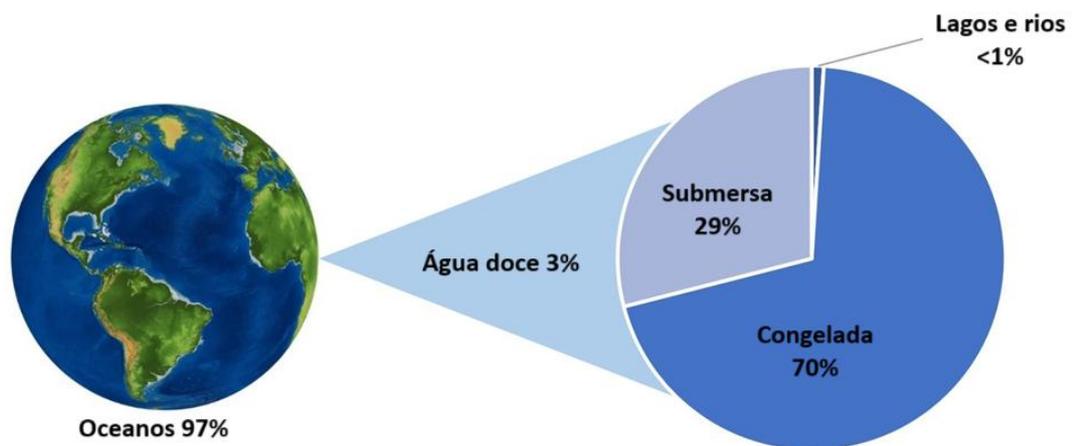
|     |                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------|----|
| 1 - | INTRODUÇÃO.....                                           | 12 |
|     | 1.1 Justificativa.....                                    | 13 |
|     | 1.2 Objetivos.....                                        | 14 |
|     | 1.3 Estrutura do trabalho .....                           | 15 |
| 2 - | Pegada hídrica.....                                       | 16 |
|     | 2.1 Pegada hídrica na construção civil .....              | 18 |
|     | 2.1.1 Materiais de construção e pegada hídrica.....       | 20 |
|     | 2.1.2 Processos construtivos e pegada hídrica.....        | 22 |
| 3 - | METODOLOGIA.....                                          | 23 |
|     | 3.1 Métodos para coleta e análise de dados.....           | 23 |
|     | 3.2 Funcionamento da planilha CasaCO-H .....              | 25 |
|     | 3.3 Estudo de caso .....                                  | 30 |
| 4 - | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                              | 36 |
|     | 4.1 Soluções construtivas sustentáveis .....              | 40 |
| 5 - | CONCLUSÃO.....                                            | 42 |
|     | REFERÊNCIAS .....                                         | 44 |
|     | ANEXO A – COEFICIENTE DE PEGADA HÍDRICA POR SERVIÇO ..... | 48 |

## 1 - INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida no planeta e para o desenvolvimento das atividades humanas. No entanto, sua distribuição desigual e a má gestão têm levado à escassez e baixa qualidade em muitas regiões, o que limita seu uso em diversas atividades. A gestão sustentável da água é crucial para garantir sua disponibilidade para as gerações futuras (UNESCO, 2020).

A água constitui 70% da superfície da Terra. No entanto, os oceanos representam 97% da água do mundo e a água doce representa apenas 3%, mas apenas 0,5% são acessível (GLEICK, 1993; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2009b; USGS, 2016) - Figura 1. Cerca de 884 milhões de pessoas carecem de acesso à água potável no mundo, mais de 2,6 bilhões não têm saneamento básico, e cerca de 1,5 milhão de crianças menores de 5 anos morrem a cada ano por causa de doenças vinculadas à água e ao saneamento (ONU, 2010).

Figura 1 – Distribuição mundial de água.



Fonte: Autora (2024) com dados de GLEICK (1993), WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2009B) E USGS (2016).

O uso desordenado desses recursos hídricos aponta a importância de realização de estudos para garantir sua preservação e gestão de forma mais eficiente. A gestão sustentável da água é, portanto, um desafio global, especialmente em setores que exercem grande pressão sobre os recursos hídricos, como a construção civil.

A pegada hídrica aparece como um forte parâmetro ambiental que se concentra em avaliar as necessidades de água para a sustentabilidade do planeta. (HOEKSTRA, 2004). É um indicador que expressa o consumo de água doce (em metros cúbicos por ano) envolvido na produção direta e indireta dos bens e serviços consumidos por indivíduos ou comunidades (WATER FOOTPRINT, 2013), essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos e promoção de transparência em processos industriais e agrícolas.

### 1.1 **Justificativa**

A escassez da água é uma temática recorrente em nível global, pois, além de ser essencial à vida, esse recurso desempenha papel fundamental no desenvolvimento de diversas atividades humanas. Contudo, sua disponibilidade é limitada e desigualmente distribuída no planeta, e o aumento da pressão sobre os recursos hídricos tem sido associado a fatores como o crescimento populacional, a urbanização, a expansão das atividades econômicas e as mudanças climáticas (WWAP, 2015). Estima-se que, até 2030, o planeta poderá enfrentar um déficit de água de 40%, caso não sejam adotadas medidas efetivas para a sua gestão sustentável (WWAP, 2015).

A qualidade da água em escala mundial também está ameaçada devido ao aumento das atividades agrícolas, industriais e urbanas, além das alterações no ciclo hidrológico global. A urbanização acelerada e a expansão dos sistemas de abastecimento de água e saneamento elevam a demanda hídrica, com impactos significativos no equilíbrio entre oferta e consumo (WWAP, 2017). Nesse contexto, setores como a construção civil assumem um papel relevante na discussão sobre conservação e uso eficiente desse recurso.

A construção civil é um dos setores econômicos mais relevantes no Brasil, sendo responsável por 16% do consumo de água potável no país (ANA, 2014). Além disso, o setor exerce impacto significativo no meio ambiente, considerando o consumo intensivo de recursos naturais e a geração de resíduos ao longo do ciclo de vida das edificações (MATEUS, 2009). Em 2022, a construção civil cresceu 6,9% no PIB brasileiro, superando o crescimento geral da economia, que foi de 2,9%. O setor gerou 194.444 novos empregos formais, totalizando cerca de 2,5 milhões de trabalhadores. Esses números refletem a importância contínua do setor para a economia nacional. (CBIC, 2023).

A água, como recurso indispensável para diversas etapas do processo construtivo, é utilizada em atividades como mistura e cura de concreto, limpeza de equipamentos e

manutenção dos canteiros de obras (MARQUES et al., 2017). Dada a relevância desse recurso para a construção civil, torna-se imprescindível incorporar práticas de gestão hídrica que promovam o uso racional da água. Por meio de uma abordagem sustentável, é possível minimizar os impactos ambientais e atender às demandas da sociedade por soluções mais eficientes.

Ademais, mudanças nas regulamentações ambientais e a crescente conscientização social sobre o uso sustentável dos recursos têm impulsionado o setor a adotar práticas sustentáveis, como o reaproveitamento de água da chuva e o reuso de águas cinzas. Essas iniciativas visam reduzir o consumo de água potável e os custos operacionais, ao mesmo tempo em que fortalecem a imagem das empresas no mercado e respondem às demandas dos consumidores (HOEKSTRA et al., 2011).

Nesse cenário, a gestão e o planejamento hídrico despontam como estratégias essenciais para promover a sustentabilidade na construção civil. A mensuração do consumo de água, desde a etapa de planejamento até a execução das obras, possibilita identificar oportunidades de melhoria e implementar soluções que equilibrem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Assim, o setor contribui para o alcance de objetivos globais de sustentabilidade, consolidando-se como um dos agentes transformadores da sociedade.

## 1.2 **Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma planilha de cálculo da pegada hídrica de edificações, usando-se de coeficientes de quantidade de água embutida em diferentes materiais de construção. A ferramenta computacional permite comparações entre soluções construtivas, isto é, combinações de materiais, utilizadas em edificações durante seu ciclo de vida.

Como objetivo secundário, propõe-se realizar uma comparação entre diferentes especificações de materiais e técnicas construtivas em um estudo de caso de uma edificação residencial de pequeno porte, com o intuito de avaliar a variação da pegada hídrica conforme as soluções adotadas no projeto.

### 1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos. O primeiro faz a introdução do tema a partir da contextualização, com dados atuais, e evidencia a importância de seu estudo, seguido das justificativas da pesquisa, e do objetivo.

O segundo capítulo trata dos conceitos de pegada hídrica e dos impactos ambientais no setor da construção civil, com enfoque inicial nos impactos do processo de fabricação de materiais de construção, seguido dos impactos dos processos construtivos.

No terceiro capítulo é abordada a metodologia, explicando o funcionamento da planilha eletrônica em estudo, utilizada para o cálculo da quantidade de água consumida em uma edificação, como foram feitas as coletas dos dados e como foram definidos os parâmetros construtivos de uma edificação para estudo de caso.

O capítulo quatro é dedicado à análise e dos resultados obtidos a partir da comparação das tipologias de edificação definidas na metodologia. Além disso, a implementação de boas práticas de gestão hídrica, que juntas ajudam a minimizar os impactos ambientais e promovem uma construção mais eficiente e responsável.

O quinto capítulo conclui o trabalho e enfatiza a necessidade de uma cultura de sustentabilidade no setor da construção civil para melhorar a gestão hídrica e reduzir impactos ambientais.

## **2 - PEGADA HÍDRICA**

O método da Pegada Hídrica (PH) permite a análise da sustentabilidade do uso da água ao longo da cadeia de suprimentos de produtos, desde matérias-primas até o descarte, ajudando empresas, governos e consumidores a entender a quantidade de água associada a produtos e serviços e quantificar a sua contribuição para os conflitos de uso da água e degradação ambiental nas bacias hidrográficas em todo o mundo (WWF BRASIL, 2011).

Historicamente, a quantificação da Pegada Hídrica (PH) esteve mais vinculada a processos e produtos agrícolas. No entanto, o conceito vem sendo cada vez mais aplicado ao setor da construção civil (FUKASAWA et al., 2019). A construção civil é um dos setores-chave para o crescimento econômico, exercendo um forte impacto na economia e no desenvolvimento de outros setores, como geração de emprego, renda e criação de infraestrutura essencial (TEIXEIRA & CARVALHO, 2006). Além disso, suas atividades, como a instalação de portos, aeroportos e ferrovias, ampliam as condições básicas para o progresso econômico.

O avanço tecnológico e a modernização dos processos construtivos têm permitido ganhos de produtividade e eficiência no setor. Contudo, o elevado consumo de água ao longo da cadeia produtiva da construção – desde a fabricação de materiais até a execução das obras – coloca a sustentabilidade no centro das discussões. A água é utilizada em diversos processos, como na mistura e na cura de concreto e argamassas, na limpeza de equipamentos e na manutenção dos canteiros de obras (MARQUES et al., 2017).

O estudo publicado por Hoekstra e Mekonnen (2012) apresenta a PH distribuída entre estes três componentes: verde, azul e cinza.

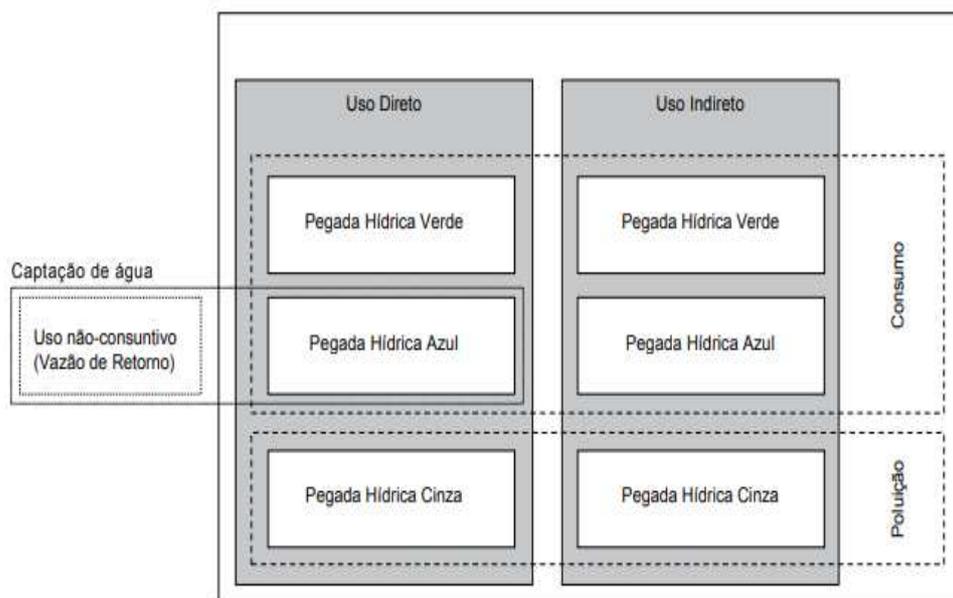
A pegada hídrica azul mede o volume de água doce retirada de fontes superficiais (rios, lagos) ou subterrâneas (aquíferos), que não é devolvida à mesma bacia hídrica ou ao ciclo natural no mesmo estado. Isso inclui tanto o uso direto quanto o indireto na produção de um produto ou serviço. Esse tipo de pegada está relacionado com o esgotamento de fontes de água, especialmente em regiões onde há pouca disponibilidade de água. (WATER FOOTPRINT, 2013). Indústrias que utilizam grandes volumes de água em processos de resfriamento ou produção, como na fabricação de papel e aço, além da agricultura irrigada, são os principais contribuintes para a pegada hídrica azul.

A pegada hídrica verde se refere à água da chuva armazenada no solo como umidade e que é utilizada diretamente pelas plantas. É particularmente relevante para a agricultura de sequeiro (não irrigada), que depende diretamente das chuvas. Cultivos como trigo e milho dependem fortemente da água da chuva para crescer, o que torna a pegada hídrica verde um fator importante na análise da sustentabilidade de produtos agrícolas (HOEKSTRA et al., 2009; WATER FOOTPRINT NETWORK, 2016).

A pegada hídrica cinza estima o volume de água necessário para diluir poluentes até que a qualidade da água esteja dentro dos padrões ambientais aceitáveis. Ela está relacionada à qualidade da água e é uma ferramenta valiosa para mensurar o impacto da poluição nos corpos d'água (HOEKSTRA et al., 2011). Um alto nível de pegada hídrica cinza pode significar que a água de um determinado local não é segura para o consumo humano ou para a vida aquática sem um tratamento adequado. A indústria química e o setor agrícola são grandes responsáveis pela pegada hídrica cinza, devido ao uso de pesticidas, fertilizantes e outros produtos químicos. Quando esses produtos contaminam rios e lagos, é necessária uma grande quantidade de água para diluir os poluentes e garantir que a água possa ser utilizada de forma segura (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2021; YANG et al., 2019).

Os conceitos apresentados podem ser observados na Figura 2, a seguir:

Figura 2 – Representação esquemática dos componentes de uma pegada hídrica.



Fonte: WATER FOOTPRINT NETWORK (2011).

## 2.1 Pegada hídrica na construção civil

Sabe-se que a água é um bem finito e necessário à vida e que as mudanças do clima têm influenciado o excesso e/ou escassez de água em todo o planeta. Ao mesmo tempo, o crescimento populacional solicita uma maior demanda por construções e consumo de insumos durante o período de uso dos empreendimentos, inclusive maior demanda de consumo de água e geração de esgotos, tornando um grande desafio à sociedade reverter o quadro de falta de água potável (CBCS; PNUMA, 2014; CBIC, 2017).

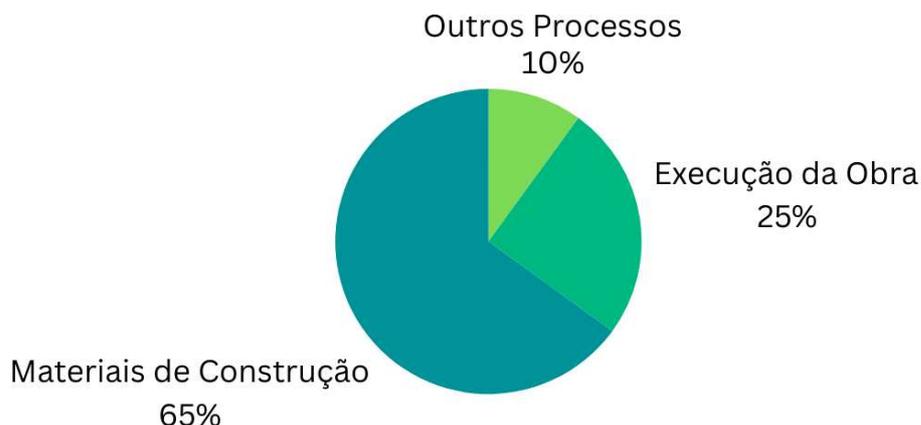
A indústria da construção civil, segundo Aurgenbroe e Pearce (1998), é uma das maiores contribuintes para o esgotamento dos recursos naturais e uma das responsáveis pela poluição do ar e água, geração de resíduos sólidos e tóxicos, desmatamento, aquecimento global, entre outros. Segundo a UNEP-SBCI (2012), mundialmente, o setor da construção civil é responsável pelo consumo anual de 40% de toda a energia e 12% da água doce. Além disso, esse setor da economia contribui em 30% na emissão de gases do efeito estufa, e produz até 40% dos resíduos sólidos anuais. Em contrapartida, esse setor emprega mais de 10% da força de trabalho mundial (cerca de 111 milhões de pessoas), e é estimado que represente 10% (US\$7,5 trilhões) do PIB mundial. Com esse cenário, é necessária a promoção da prática da construção sustentável, pois esse setor é fundamental na minimização do esgotamento de recursos naturais.

Além disso, esse setor da economia contribui em 30% na emissão de gases do efeito estufa, e produz até 40% dos resíduos sólidos anuais. Em contrapartida, esse setor emprega mais de 10% da força de trabalho mundial (cerca de 111 milhões de pessoas), e é estimado que represente 10% (US\$7,5 trilhões) do PIB mundial. Com esse cenário, é necessária a promoção da prática da construção sustentável, pois esse setor é fundamental na minimização do esgotamento de recursos naturais.

A pegada hídrica tem uma aplicação direta e significativa na indústria da construção civil, na qual o uso de materiais de construção e os processos de edificação consomem grandes volumes de água, muitas vezes de maneira insustentável. De acordo com estimativas, aproximadamente 65% do consumo de água no setor está relacionado à fabricação de materiais de construção, enquanto 25% ocorrem durante a execução das obras, e 10% se referem a outros processos auxiliares, como manutenção de equipamentos e limpeza. Esses dados evidenciam a relevância de práticas sustentáveis em todas as etapas da cadeia produtiva,

destacando a importância de abordar o uso eficiente da água no setor (UNEP-SBCI, 2012). O Gráfico 1 apresentado ilustra essa distribuição, reforçando a necessidade de estratégias de gestão hídrica para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor.

Gráfico 1– Distribuição do consumo de água na construção civil.



Fonte: Autora (2024), com dados de (UNEP-SBCI, 2012).

A forma de se avaliar a pegada hídrica depende muito de interesses específicos. Pode haver interesse em um determinado passo de um processo em uma cadeia de produção ou na pegada hídrica de um produto. Alternativamente, na pegada hídrica de um consumidor, de um grupo de consumidores, de um produtor ou de todo um setor econômico.

O presente trabalho abordará a pegada hídrica do processo de extração das matérias-primas, produção e processamento. A partir dessa etapa, esse dado pode variar dependendo da localidade fábrica/obra do processo de transporte para diferentes locais de fábricas e obras.

O desenvolvimento de uma planilha cálculo da pegada hídrica na construção de edificações representa uma contribuição inovadora e prática para o setor, ao agilizar a quantificação do uso de água ao longo do ciclo de vida dos materiais e dos edifícios. Isso permite aumentar a conscientização sobre os impactos ocultos das decisões de projeto e incentivar o uso de alternativas mais sustentáveis. Por exemplo, a madeira, que possui uma pegada hídrica significativamente menor do que o aço ou o concreto, pode ser priorizada em projetos onde a sustentabilidade hídrica é uma preocupação. Além disso, a produção de madeira, quando proveniente de florestas geridas de forma sustentável, apresenta um impacto ambiental consideravelmente mais baixo em termos de consumo de água e emissões de carbono, pois as árvores absorvem CO<sub>2</sub> da atmosfera enquanto crescem (USDA, 2019). No

entanto, é importante observar que a crescente demanda por madeira pode gerar impactos adversos no equilíbrio ecológico, caso a extração não seja realizada de maneira responsável, contribuindo para o desmatamento e a liberação de carbono (WRI, 2023).

Além dos benefícios ambientais, o desenvolvimento de edificações com menor impacto hídrico pode ter implicações econômicas significativas. Com a escassez de água tornando-se uma questão crítica em várias regiões, os custos associados ao consumo de água tendem a aumentar. A adoção de práticas e materiais que reduzam a dependência de grandes volumes de água pode gerar economia tanto na fase de construção quanto na operação das edificações, especialmente em áreas sujeitas a racionamento ou tarifas mais altas. Estudo da Alliance for Water Efficiency (2008), mostra que a implementação de estratégias de conservação de água não só gera benefícios ambientais, mas também pode estimular a economia, com o aumento de empregos e o impacto positivo no PIB, o que torna esses investimentos vantajosos do ponto de vista econômico a longo prazo.

Essa análise considerará o consumo de água associado à construção da edificação, abrangendo o impacto dos materiais utilizados, como concreto, madeira, aço, vidro e outros, desde a fase de extração e produção até a construção. Os dados coletados serão organizados em uma planilha para quantificar e comparar o impacto hídrico dos materiais e técnicas escolhidos, auxiliando na identificação de soluções que possam minimizar o uso de água na edificação. Além disso, serão avaliadas técnicas construtivas que promovem a eficiência no consumo de água durante o processo construtivo, como o uso de tecnologias que permitem o reaproveitamento e a otimização de recursos hídricos (McCORMACK et al., 2007; HOOGENBOOM et al., 2017). O objetivo é fornecer subsídios para decisões que promovam maior sustentabilidade hídrica no setor da construção civil.

### *2.1.1 Materiais de construção e pegada hídrica*

A construção civil é uma das indústrias que mais consome água doce, tanto de forma direta quanto indireta, exacerbando o problema. A água é utilizada em praticamente todas as etapas da construção, desde a fabricação de materiais até a manutenção dos edifícios (MARCEAU; VANGEEM, 2009). A escolha de materiais de construção, muitas vezes pautada em critérios como custo e durabilidade, raramente leva em consideração o impacto hídrico dos materiais. No entanto, com a crescente escassez de água em várias partes do mundo, torna-se

cada vez mais imperativo avaliar e minimizar a pegada hídrica dos materiais utilizados nas edificações (MARCEAU; VANGEEM, 2009).

No contexto de estudos relacionados à pegada hídrica na construção civil, Bardhan (2011) estimou que a construção de uma edificação na Índia demanda 27.604 litros de água por metro quadrado de área construída, sendo que 92,75% desse total corresponde à água incorporada nos materiais utilizados. Bardhan e Choudhuri (2016) analisaram duas edificações no mesmo país e chegaram à mesma conclusão: a água incorporada nos materiais representa uma parcela mais significativa do consumo do que a água utilizada diretamente durante o processo de construção. No mesmo estudo, os autores compararam a água virtual (soma da água incorporada nos materiais e da água empregada na construção) com a água operacional (água consumida durante o uso dos edifícios). Eles também identificaram que a quantidade de água virtual seria suficiente para abastecer os edifícios por períodos de 6,89 e 7,13 anos.

Hosseinian e Ghahari (2020) exploraram a relação entre parâmetros estruturais e a pegada hídrica de edifícios residenciais. Os autores concluíram que certos materiais apresentam um desempenho hídrico superior em comparação com outros que desempenham a mesma função. Esses estudos ressaltam a importância da escolha e da quantidade dos materiais no consumo de água das edificações. Embora existam pesquisas sobre a pegada hídrica de alguns materiais da construção, ainda não há estudos que contabilizem a pegada hídrica de diferentes tipos de alvenarias, o que impossibilita comparações entre elas. A análise da pegada hídrica de diferentes produtos utilizados para a mesma função – como diferentes métodos construtivos de alvenarias, empregadas como vedação vertical nas construções – possibilita identificar qual material apresenta o melhor desempenho hídrico, contribuindo para a economia hídrica no setor da construção civil, já no processo de produção.

O impacto hídrico vai muito além do que é visível no canteiro de obras, sendo parte integrante do ciclo de vida dos materiais. O alumínio, por exemplo, tem uma pegada hídrica de aproximadamente 1.900 litros por quilograma, devido ao alto consumo de água nas etapas de extração e refino dos minerais de bauxita (MARCEAU; VANGEEM, 2009). Já a produção de aço, outro material essencial na construção, requer um alto consumo de água, principalmente para o resfriamento durante a fabricação, entre 200 e 500 litros de água por quilograma, dependendo do processo de fabricação utilizado (KERMELI; WORRELL; NEELIS, 2010).

A produção de concreto consome volumes significativos de água, especialmente na mistura e na cura. O cimento, um dos componentes do concreto, também requer água em sua fabricação, contribuindo de forma significativa para o impacto ambiental do material. Estudos mostram que a produção de 1 tonelada de cimento requer aproximadamente 1.500 litros de água (MARCEAU; VANGEEM, 2009), sendo uma das atividades industriais com maior pegada hídrica.

A produção de madeira tem uma pegada hídrica verde relativamente alta, já que a água utilizada é a água da chuva absorvida pelas árvores (WRAP, 2013). No entanto, o processo de fabricação de compensado pode adicionar uma pegada hídrica cinza, devido ao uso de produtos químicos que precisam ser diluídos (WRAP, 2013).

### *2.1.2 Processos construtivos e pegada hídrica*

O consumo de água nos processos construtivo dos canteiros de obras deve ser objeto de preocupação constante (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012). Obras de grande porte, como infraestrutura e edifícios, utilizam grandes quantidades de água para diversas atividades específicas: produção do concreto, controle de poeira, resfriamento de equipamentos e limpeza de materiais e ferramentas (DING, 2008). A pegada hídrica azul é predominante nesses casos, já que a água é retirada de fontes potáveis e raramente reutilizada (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007). Práticas como a captação de água da chuva para uso no canteiro de obras, além de sistemas de aproveitamento de água para tarefas como controle de poeira, são práticas inteligentes para reduzir significativamente o impacto.

### **3 - METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste trabalho é baseada na planilha eletrônica “CasaCO”, desenvolvida pelo grupo de pesquisa PARES – Pesquisa Aplicada em Materiais e Sustentabilidade, do Departamento de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Originalmente criada para calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada em uma edificação, a ferramenta se encontra atualmente disponível em plataforma exclusiva na Internet, acessível de forma gratuita<sup>1</sup>. Os cálculos são feitos a partir de escolhas de materiais e/ou suas combinações para cinco etapas construtivas de edificações - paredes, pisos, coberturas, portas e janelas. Conforme consta no site do programa, realiza-se uma espécie “orçamento” de CO<sub>2</sub> para um projeto e suas quantidades de serviços escolhidas pelo usuário/projetista. Leva-se em conta a vida útil da edificação, também escolhida pelo usuário (em anos) e a vida útil de cada componente (janela, porta, etc.), quantificando-se o impacto da instalação de cada parte da obra e, também, o efeito das trocas durante os anos.

Para o presente estudo, foi feita uma versão adaptada da planilha, intitulada CasaCO-H com autorização dos autores da versão original, voltada para calcular a pegada hídrica dos materiais de construção, considerando a fase de extração e produção dos materiais de construção, abrangendo desde a entrega da matéria-prima até a saída do produto da fábrica.

#### **3.1 Métodos para coleta e análise de dados**

Uma forma eficiente de determinar os coeficientes de pegada hídrica para materiais de construção é por meio da consulta a bases de dados e estudos especializados. No Brasil, embora ainda não exista uma base unificada amplamente difundida por entidades públicas ou privadas que represente toda a indústria nacional, diversos estudos nacionais oferecem informações valiosas. Alguns institutos de pesquisa e universidades brasileiras têm se dedicado ao levantamento de dados de pegada hídrica no setor da construção civil. Entre as bases mais reconhecidas mundialmente, destaca-se a suíça Ecoinvent.

O IPT - coordenou, entre 2017 e 2018, um projeto de levantamento de dados que contribuiu para a base Ecoinvent, com inventários brasileiros para sete tipos de cimento,

---

<sup>1</sup> [www.casaco.eco.br](http://www.casaco.eco.br)

concreto e produtos cimentícios, como blocos de concreto (IPT, 2018). No entanto, é comum que os dados nacionais sejam complementados por informações internacionais, sendo necessário verificar a validade e aplicabilidade dessas informações no contexto brasileiro. O uso de bases estrangeiras, como a *Water Footprint Network*, é frequente, mas muitas vezes exige ajustes nos coeficientes, levando em consideração as particularidades locais, como os processos produtivos, a disponibilidade hídrica regional e a matriz energética. Isso ocorre porque as condições ambientais, climáticas e a gestão de recursos hídricos no Brasil são distintas de outros países.

Portanto, os valores de pegada hídrica incorporada dos materiais de construção no Brasil são, na maioria das vezes, uma combinação de dados extraídos de fontes nacionais e internacionais, ajustados para refletir as condições e desafios específicos do país. Isso tem permitido obter uma visão mais realista e precisa do impacto hídrico dos materiais utilizados na construção civil brasileira. Para a análise dos dados na planilha adaptada para o presente trabalho foi necessário realizar diversas consultas a essas fontes, que resultaram nos índices presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de pegada hídrica de materiais de construção.

| <b>Material</b>             | <b>Unidade do índice</b> | <b>CPH</b> | <b>Fonte</b>                                |
|-----------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------------------|
| Aço CA50                    | L/kg                     | 67,3       | SOUZA (2014)                                |
| Alumínio                    | L/kg                     | 18,2       | BUXMANN; KOEHLER; THYLMANN, (2016)          |
| Areia                       | L/m <sup>3</sup>         | 1,38       | Adaptado de WERNET et al. (2016)            |
| Argamassa colante           | L/kg                     | 0,8        | Composição (cimento, cal hidratada e areia) |
| Azulejo                     | L/m <sup>2</sup>         | 12         | SOUZA (2014)                                |
| Brita                       | L/m <sup>3</sup>         | 93,8       | SOUZA (2014)                                |
| Cal hidratada               | L/kg                     | 1,52       | SAADE et al. (2014)                         |
| Bloco cerâmico              | L/m <sup>3</sup>         | 714        | Adaptado de BARDHAN (2011)                  |
| Telha de cerâmica           | L/kg                     | 10         | SAADE et al. (2014)                         |
| Cimento Portland CP-II E-32 | L/kg                     | 2,4        | SAADE et al. (2014)                         |
| Bloco de concreto           | L/kg                     | 6,98       | KUNTZ (2021)                                |
| Telha de concreto           | L/kg                     | 4,55       | OCTAVIA; LAURENCE; HARTONO, (2017)          |
| Telha de fibrocimento       | L/kg                     | 4,07       | KOROL et al. (2019)                         |
| Madeira                     | L/kg                     | 1,07       | SAADE et al. (2014)                         |
| Perfil de Aço               | L/kg                     | 67,3       | Assumido como igual a aço                   |
| PVC                         | L/kg                     | 80         | ARAUJO; ALVES, (2019)                       |

L/kg - Litros por quilograma

L/m<sup>2</sup> - Litros por metro quadrado

Fonte: Autora (2024).

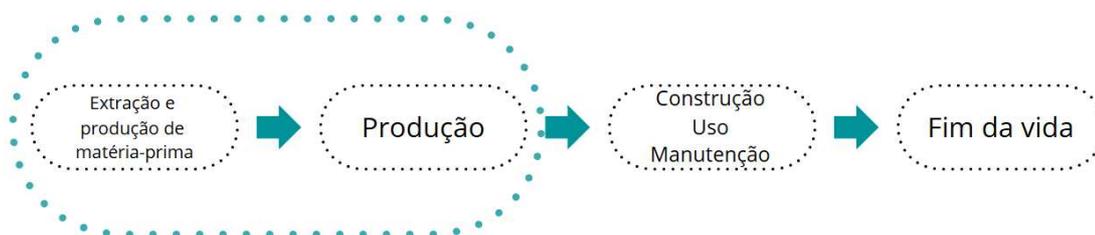
### 3.2 Funcionamento da planilha CasaCO-H

A planilha CasaCO-H é uma ferramenta desenvolvida no programa computacional Microsoft Excel®, com objetivo de permitir a comparação entre diversas combinações de materiais e soluções construtivas para edificações, identificando qual delas oferece o melhor desempenho ambiental em relação à pegada hídrica dos materiais utilizados. dos materiais.

Ressalta-se que, no presente estudo, não são considerados os consumos de água relacionados ao transporte, ao uso e à execução dos serviços, que variam amplamente em função da distância entre fábricas e obras, e da ampla diversidade de métodos e processos

construtivos possíveis de serem empregados. Deve-se destacar que os cálculos são feitos, na versão adaptada, de modo a representar a instalação da edificação, ou seja, a pegada hídrica é considerada apenas uma vez. A Figura 3 ilustra o limite abordado.

Figura 3 – Abordagem da pegada hídrica incluída no presente estudo.

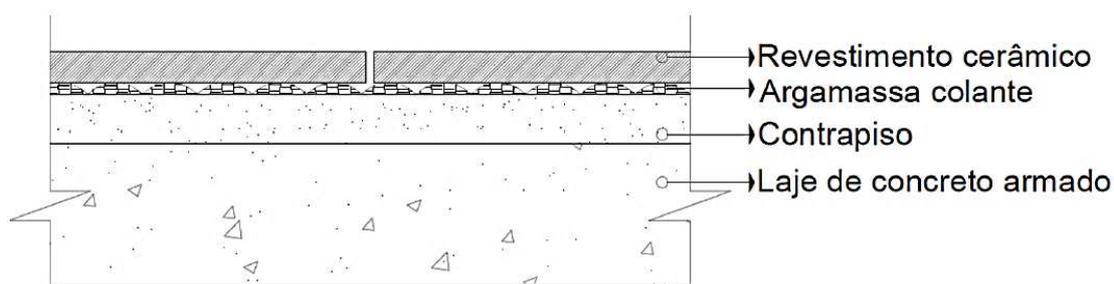


Fonte: Autora (2024).

A planilha possui uma interface inicial em que o projetista determina a área total construída da edificação, em metros quadrados, bem como as quantidades de serviços das etapas construtivas estrutura, paredes, pisos, coberturas, janelas e portas.

Para cada um dos serviços existem campos ("abas") exclusivos para sua configuração. Nesses campos, o usuário pode definir tanto as camadas que compõem o serviço, quanto suas respectivas espessuras, quando for o caso. Para a composição de "PISOS", por exemplo, existem quatro opções diferentes de materiais – laje de concreto, argamassa de cimento e areia para contrapiso, cerâmica assentada com argamassa colante e piso de madeira. A Figura 4 mostra uma configuração de piso com diversas camadas.

Figura 4 – Exemplo de solução construtiva para piso.



Fonte: ANDRADE (2019).

Com a configuração concluída, a solução construtiva fica disponível para seleção de forma interativa na planilha, como mostra a Tabela 2. Além disso, é possível, quando necessário, realizar ajustes específicos para cada camada de piso - Tabela 3.

Tabela 2 – Opções de configuração de serviços para a etapa de piso (retirada da planilha CasaCO-H).

| EDIFICAÇÃO 1                                 |                                                                                             |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)</b> |                                                                                             |
| <b>PAREDES (m<sup>2</sup>)</b>               | Emboço + Bl. Cer. Vazado + Emboço                                                           |
| <b>PISOS (m<sup>2</sup>)</b>                 | Laje CA + Arg + Cola + Ceram.                                                               |
| <b>COBERTURA (m<sup>2</sup>)</b>             | Laje CA + Arg + Cola + Ceram.<br>Laje CA + Arg + Cola + Madeira<br>Laje CA + Arg<br>Laje CA |
| <b>JANELA (m<sup>2</sup>)</b>                | Madeira                                                                                     |
| <b>PORTA (m<sup>2</sup>)</b>                 | Madeira                                                                                     |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 3 – Escolha dos materiais e espessura para um tipo de piso (retirada da planilha CasaCO-H).

| PISO                                                             |         |                |
|------------------------------------------------------------------|---------|----------------|
| laje CA + contrapiso + argamassa colante + revestimento cerâmico |         |                |
|                                                                  | Unidade | Espessura (cm) |
| Laje de concreto armado                                          | cm      | 8,0            |
| Contrapiso argamassa (cimento, areia)                            | cm      | 2,0            |
| Argamassa colante                                                | cm      | 1,0            |
| Revestimento cerâmico                                            | cm      | 2,0            |

Fonte: Autora (2024).

A partir dos dados fornecidos, o usuário pode acessar os resultados de forma detalhada. A planilha original CasaCO foi configurada para realizar cálculos automáticos com base no coeficiente de pegada hídrica dos materiais (CPH, em litros de água por quilograma de material ou metro quadrado de serviço, conforme o caso) e nos índices de consumo de materiais por unidade de serviço (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, kg), extraídos de composições de custo da referência TCPO – "Tabelas de Composições e Preços para Orçamentos" (TCPO, 2010).

Com as soluções construtivas selecionadas para a edificação, a planilha calcula, através da composição unitária de cada serviço e a quantidade necessária de cada material, e realiza a soma da quantidade de água utilizada em cada etapa da construção, permitindo a determinação da pegada hídrica total da edificação analisada. A planilha permite compara até 6 edificações, com variações de materiais, à escolha do usuário/projetista.

A Equação 1 seguir expressa os cálculos da planilha:

$$H_2O, s = \sum (Q_x \times iH_2O, x) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$H_2O, s$ : quantidade de água embutida em uma unidade de um serviço “s”, em  $LH_2O/m^2$  ou  $LH_2O/m^3$ ;

$Q_x$ : consumo de um material “x” por unidade de serviço;

$iH_2O, x$ : quantidade de água embutida em 1 kg de um material “x” em  $LH_2O/kg$ .

Com base nos valores de água embutidos de cada serviço, calcula-se a quantidade para cada etapa construtiva (piso, parede, cobertura, janelas, portas e estrutura) – Equação 2.

$$H_2O, ec = \sum (H_2O, s \times Q_{serviço} \times esp) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$H_2O, ec$ : quantidade de água embutida de uma etapa construtiva “ec”, em  $LH_2O$ ;

$Q_{serviço}$ : quantidade de serviço a ser executado na presente etapa, em  $m^2$  ou  $m^3$ ;

$esp$ : espessura de cada serviço, levada em consideração para as etapas de parede e piso, em cm (para as demais etapas construtivas  $esp = 1$ ).

As tabelas seguintes mostram, como exemplo, a quantificação do consumo de água para os serviços de concreto estrutural (Tabela 4), contrapiso (Tabela 5), argamassa (Tabela 6) e revestimento cerâmico (Tabela 7), que compõem a configuração do piso escolhida para a o estudo de caso. As demais composições de serviços estão presentes no Anexo A.

Tabela 4 – Exemplo de cálculo de PH para laje.

| <b>Serviço: Concreto Estrutural 25 MPa, concreto controle tipo A</b> |                |         |             |                   |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                                             | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                                          | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                                               | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Cimento Portland CP-II E-32                                          | kg             | 349,00  | 2,40        | 8,3760            |
| Brita                                                                | m <sup>3</sup> | 0,84    | 93,80       | 0,7879            |
| Areia                                                                | m <sup>3</sup> | 0,87    | 1,38        | 0,0120            |
| Aço CA50                                                             | kg             | 80,00   | 67,30       | 53,84             |
| <b>Σ =</b>                                                           |                |         |             | <b>63,02</b>      |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 5 – Exemplo de cálculo de PH para contrapiso.

| <b>Serviço: Contrapiso de cimento e areia 1:5 e = 1 cm</b> |                |         |             |                   |
|------------------------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                                   | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                                | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                                     | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Cimento Portland CP-II E-32                                | kg             | 2,92    | 2,40        | 7,01              |
| Areia                                                      | m <sup>3</sup> | 0,012   | 1,38        | 0,02              |
| <b>Σ =</b>                                                 |                |         |             | <b>7,02</b>       |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 6 – Exemplo de cálculo de PH para argamassa colante.

| <b>Serviço: Argamassa colante</b> |                |         |             |                   |
|-----------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                          | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                       | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                            | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Argamassa colante                 | kg             | 4,50    | 0,80        | 3,60              |
| <b>Σ =</b>                        |                |         |             | <b>3,60</b>       |

Fonte: Autora (2024).

Tabela 7 – Exemplo de cálculo de PH para revestimento cerâmico.

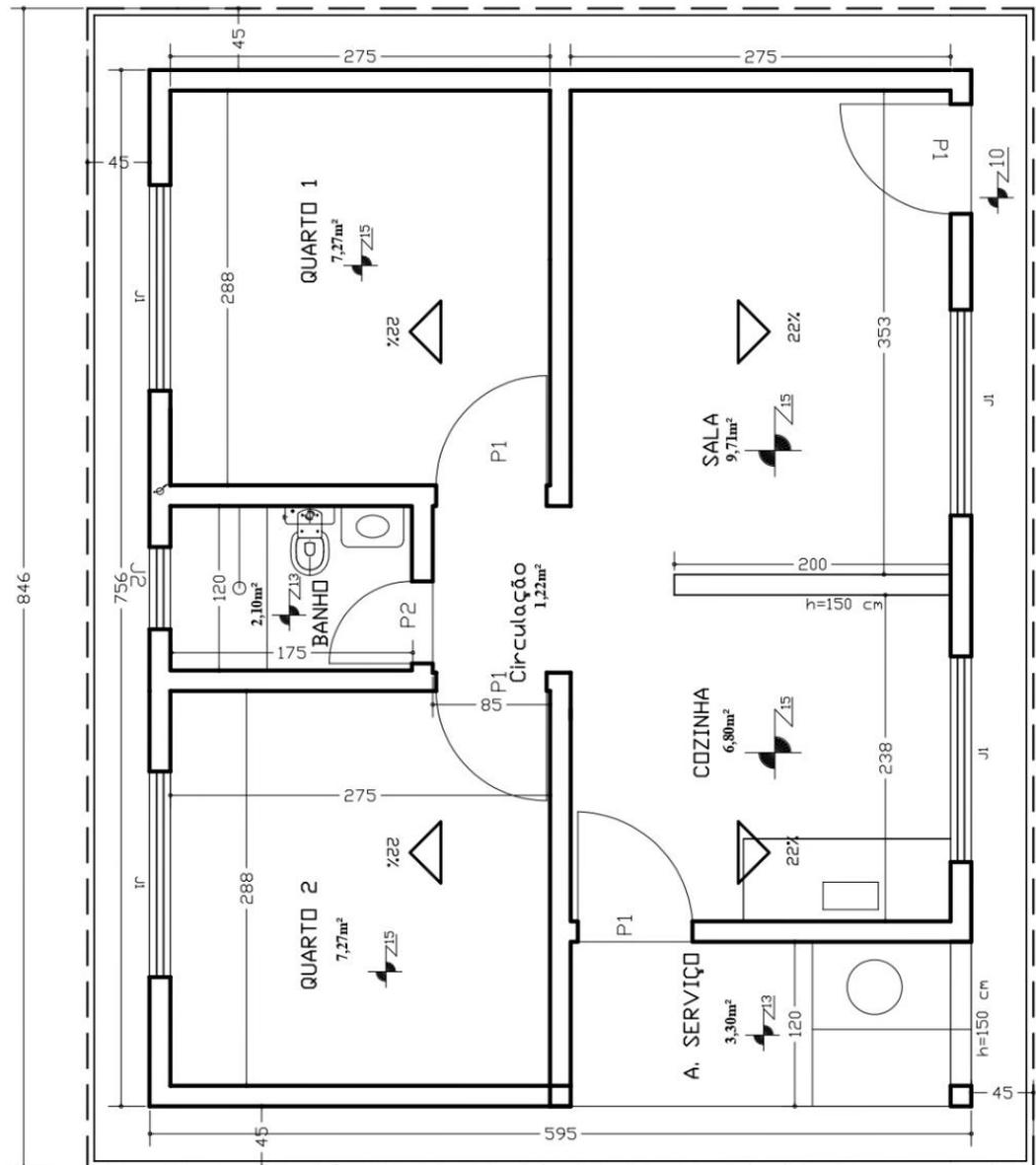
| <b>Serviço: Revestimento azulejo/cerâmica</b> |                |         |             |                   |
|-----------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                      | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                   | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                        | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Azulejo                                       | m <sup>2</sup> | 1,10    | 12,00       | 0,13              |
|                                               |                |         | <b>Σ =</b>  | <b>0,13</b>       |

Fonte: Autora (2024).

### 3.3 Estudo de caso

A seguir é demonstrada a aplicação do método de escolha de soluções construtivas em um estudo de caso, um projeto de uma residência de 56,40 m<sup>2</sup> de área construída. O projeto foi feito pela própria autora e pode ser observado na planta baixa da Figura 5. As quantidades de serviços das etapas construtivas analisadas na planilha - paredes, pisos, cobertura, portas, janelas e estrutura são mostradas na Tabela 8 – Dados de entrada - Quantitativo da edificação..

Figura 5 – Planta baixa edificação para estudo de caso.



ESQUADRIAS  
 Porta >P1 - 080 X 210  
 Porta >P2 - 060 X 210  
 Janelas  
 >J1 - 150 X 100 / h=110  
 >J2 - 60 X 60 / h=180

**PLANTA BAIXA**

Esc.: 1 / 50

calçada de proteção - 45 cm

projeção do telhado - 45 cm

Fonte: Autora (2024).

Tabela 8 – Dados de entrada - Quantitativo da edificação.

| <b>Edificação</b>                       |       |
|-----------------------------------------|-------|
| Área total construída (m <sup>2</sup> ) | 56,40 |
| Paredes (m <sup>2</sup> )               | 120,0 |
| Pisos (m <sup>2</sup> )                 | 56,4  |
| Cobertura (m <sup>2</sup> )             | 58,5  |
| Janela (m <sup>2</sup> )                | 6,4   |
| Porta (m <sup>2</sup> )                 | 8,0   |

Fonte: Autora (2024).

A seleção dos materiais foi feita de forma a permitir uma comparação entre a pior e a melhor edificação quanto ao desempenho hídrico. Para a Edificação 1, optou-se pela parede composta por bloco de concreto vazado, cujas espessuras de camadas estão apresentadas na Tabela 9. Foi considerada a mesma configuração de parede para toda a edificação, incluindo as áreas molhadas.

Tabela 9 – Configuração das paredes – Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H).

| <b>PAREDE</b>                                     |         |                |
|---------------------------------------------------|---------|----------------|
| <b>emboço + bloco de concreto vazado + emboço</b> |         |                |
|                                                   | Unidade | Espessura (cm) |
| Emboço argamassa (cimento, cal, areia)            | cm      | 2,0            |
| Bloco concreto vazado                             | cm      | 10,0           |
| Emboço argamassa (cimento, cal, areia)            | cm      | 2,0            |

Fonte: Autora (2024).

O piso foi projetado com uma base convencional composta por laje de concreto armado, argamassa de contrapiso, argamassa colante e revestimento de madeira, com as respectivas espessuras ilustradas na Tabela 10.

. Embora não seja viável a aplicação de madeira em áreas molháveis, como a área de banheiro e cozinha é relativamente pequena no projeto estudado, optou-se por uma simplificação nos cálculos, considerando toda a área da Edificação 1 com este tipo de piso. Vale lembrar que a composição unitária de cada serviço está detalhada no Anexo A.

Tabela 10 – Configuração da etapa de pisos - Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H).

| PISO                                                            |         |                |
|-----------------------------------------------------------------|---------|----------------|
| laje CA + contrapiso + argamassa colante + revestimento madeira |         |                |
|                                                                 | Unidade | Espessura (cm) |
| Laje de concreto armado                                         | cm      | 8,0            |
| Contrapiso argamassa (cimento, areia)                           | cm      | 2,0            |
| Argamassa colante                                               | cm      | 1,0            |
| Revestimento de madeira                                         | cm      | 2,0            |

Fonte: Autora (2024).

Para a cobertura foram escolhidas telhas cerâmicas, enquanto portas e janelas foram definidas em aço. A Tabela 11 apresenta a interface inicial preenchida com todas as configurações determinadas para a Edificação 1.

Tabela 11 – Interface inicial da planilha para Edificação 1 (retirada da planilha CasaCO-H).

| EDIFICAÇÃO 1                                 |                                |       |
|----------------------------------------------|--------------------------------|-------|
| <b>ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)</b> | 56,4                           |       |
| <b>PAREDES (m<sup>2</sup>)</b>               | Emboço + Bl. Concreto + Emboço | 120,0 |
| <b>PISOS (m<sup>2</sup>)</b>                 | Laje CA + Arg + Cola + Madeira | 56,4  |
| <b>COBERTURA (m<sup>2</sup>)</b>             | Telha cerâmica                 | 58,5  |
| <b>JANELA (m<sup>2</sup>)</b>                | Aço                            | 6,4   |
| <b>PORTA (m<sup>2</sup>)</b>                 | Aço                            | 8,0   |

Fonte: Autora (2024).

Para a Edificação 2, os materiais foram substituídos em relação à Edificação 1. Neste caso, os critérios de seleção priorizaram os materiais com menos coeficientes de pegada hídrica, servindo como contraponto à primeira edificação.

A parede adotada foi composta por bloco cerâmico vazado, com as espessuras de suas camadas descritas na Tabela 12. Assim como na Edificação 1, manteve-se uma configuração uniforme para toda a construção.

Tabela 12 – Configuração das paredes – Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H).

| PAREDE                                         |         |                |
|------------------------------------------------|---------|----------------|
| <b>emboço + bloco cerâmico vazado + emboço</b> |         |                |
|                                                | Unidade | Espessura (cm) |
| Emboço argamassa (cimento, cal, areia)         | cm      | 2,0            |
| Bloco cerâmico vazado                          | cm      | 10,0           |
| Emboço argamassa (cimento, cal, areia)         | cm      | 2,0            |

Fonte: Autora (2024).

O piso montado com uma base convencional, incluindo laje de concreto armado, argamassa de contrapiso e argamassa colante, e revestimento cerâmico. As dimensões de cada camada estão detalhadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Configuração da etapa de pisos - Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H).

| PISO                                                                    |         |                |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|
| <b>laje CA + contrapiso + argamassa colante + revestimento cerâmico</b> |         |                |
|                                                                         | Unidade | Espessura (cm) |
| Laje de concreto armado                                                 | cm      | 8,0            |
| Contrapiso argamassa (cimento, areia)                                   | cm      | 2,0            |
| Argamassa colante                                                       | cm      | 1,0            |
| Revestimento cerâmico                                                   | cm      | 2,0            |

Fonte: Autora (2024).

A cobertura da Edificação 2 foi composta por telhas de alumínio, enquanto as portas foram definidas em madeira e as janelas em alumínio. A Tabela 14 apresenta a interface inicial preenchida com todas as configurações especificadas para a Edificação 2.

Tabela 14 – Interface inicial da planilha para Edificação 2 (retirada da planilha CasaCO-H).

|                                              |                                   | <b>EDIFICAÇÃO 2</b> |  |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--|
| <b>ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)</b> | 56,4                              |                     |  |
| <b>PAREDES (m<sup>2</sup>)</b>               | Emboço + Bl. Cer. Vazado + Emboço | 120,0               |  |
| <b>PISOS (m<sup>2</sup>)</b>                 | Laje CA + Arg + Cola + Ceram.     | 56,4                |  |
| <b>COBERTURA (m<sup>2</sup>)</b>             | Telha alumínio                    | 58,5                |  |
| <b>JANELA (m<sup>2</sup>)</b>                | Alumínio                          | 6,4                 |  |
| <b>PORTA (m<sup>2</sup>)</b>                 | Madeira                           | 8,0                 |  |

Fonte: Autora (2024).

No próximo capítulo serão apresentados os resultados do estudo de caso efetuado a fim de aplicar a metodologia proposta na dissertação, de escolha de soluções construtivas quanto ao desempenho hídrico para edificações.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise comparativa entre as edificações 1 e 2 estudadas revelou importantes diferenças no consumo de água associado aos materiais utilizados durante as etapas de construção que influenciam diretamente o impacto hídrico total. Os resultados estão apresentados em três perspectivas principais: consumo total de água por edificação, participação percentual de cada etapa construtiva e consumo de água por metro quadrado ( $m^3/m^2$ ).

Ao comparar o consumo total de água no Gráfico 2, observa-se uma diferença considerável entre as duas edificações. A Edificação 1 consumiu  $105,36 m^3$  de água, enquanto a Edificação 2 consumiu  $14,06 m^3$ , um valor significativamente menor. Essa diferença pode ser atribuída principalmente à escolha de materiais com coeficientes de pegada hídrica (CPH) mais baixos para a Edificação 2, refletindo uma utilização mais eficiente de recursos hídricos na sua construção em comparação com a Edificação 1.

A cobertura foi o fator crucial para o aumento do consumo de água na Edificação 1. A opção por telhas cerâmicas para a cobertura resultou em um consumo de água de  $49,61 m^3$ . Esse valor elevado se deve, em grande parte, ao processo de fabricação das telhas cerâmicas, que é extremamente intensivo em água. Durante a produção, grandes quantidades de água são utilizadas na preparação da argila, na modelagem das telhas e, principalmente, no processo de queima, que exige temperaturas muito altas e o uso de grandes volumes de água para resfriamento e controle do forno. Esse alto consumo de água no processo de produção reflete diretamente na pegada hídrica do material, tornando as telhas cerâmicas uma opção com um impacto ambiental considerável.

Por outro lado, na Edificação 2, a cobertura foi feita com um material de menor impacto hídrico, o alumínio, resultando em um consumo de  $2,10 m^3$  de água. A escolha de materiais com menor exigência no processo de fabricação, como telhas de concreto ou metálicas, reduz significativamente o consumo de água na produção.

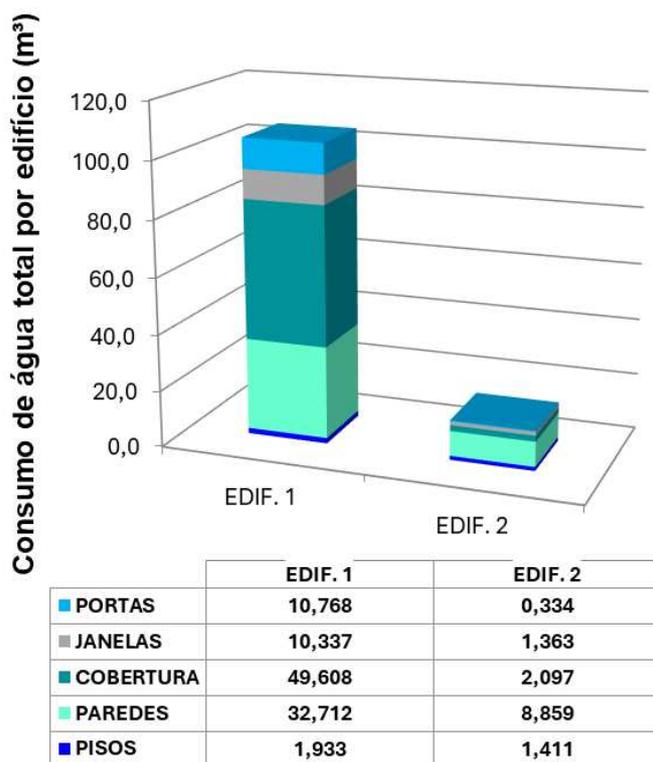
Em relação às paredes, embora a Edificação 1 tenha utilizado blocos de concreto vazados com um consumo de  $32,71 m^3$  de água, o impacto da cobertura foi muito mais expressivo. Já na Edificação 2, as paredes foram feitas com blocos cerâmicos vazados,

resultando em um consumo de 8,86 m<sup>3</sup> de água. As paredes, embora também importantes, não foram responsáveis pelo aumento tão grande no consumo.

No que diz respeito aos pisos, a Edificação 1 optou por madeira, um material com alto CPH, resultando em um consumo de 1,93 m<sup>3</sup> de água. Já na Edificação 2, o piso cerâmico gerou um consumo de 1,411 m<sup>3</sup>.

Finalmente, as escolhas para portas e janelas também influenciaram o consumo de água. Na Edificação 1, as portas e janelas de aço resultaram em consumos de 10,77 m<sup>3</sup> e 10,34 m<sup>3</sup>, respectivamente, enquanto na Edificação 2, com portas de madeira e janelas de alumínio, o consumo foi bem menor, com 0,33 m<sup>3</sup> nas portas e 1,36 m<sup>3</sup> nas janelas, devido à pegada hídrica menor desses materiais.

Gráfico 2 – Resultado comparativo - Pegada hídrica total por edificação.

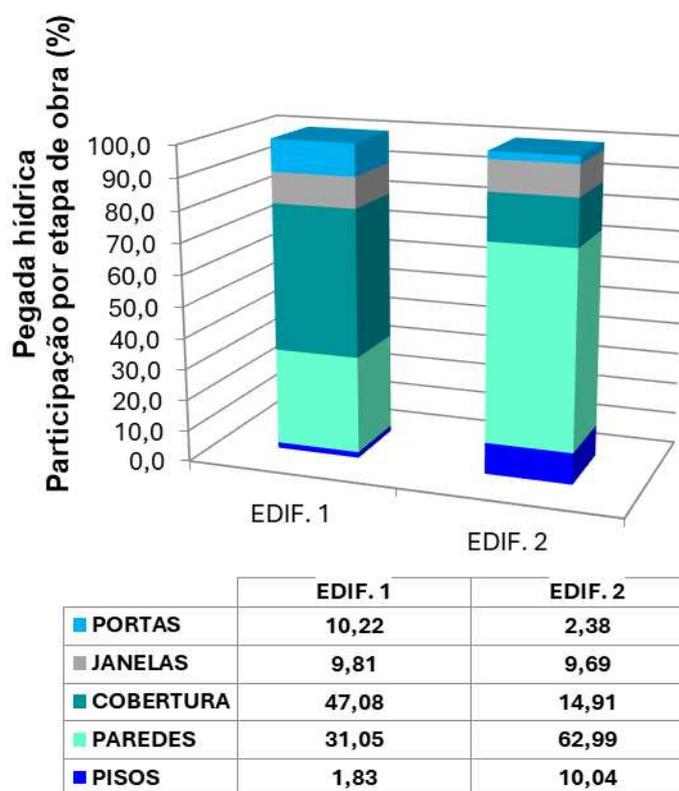


Fonte: Autora (2019).

A análise das participações percentuais no consumo total de água, apresentada no Gráfico 3, revela informações importantes sobre a distribuição do consumo entre os diferentes componentes das edificações. Na Edificação 1, a maior contribuição veio da cobertura, com

47,08% do consumo total, seguida pelas paredes, que representaram 31,05%. As janelas e portas também tiveram uma participação significativa, com 9,81% e 10,22%, respectivamente, enquanto o piso teve a menor contribuição, com 1,83%. Na Edificação 2, as paredes tiveram o maior impacto, com 62,99% do consumo total, seguidas pela cobertura com 14,91%. As janelas representaram 9,69%, as portas 2,38%, e o piso teve uma participação maior que na Edificação 1, com 10,04%. Esses dados destacam como as escolhas materiais influenciam diretamente o consumo de água na construção.

Gráfico 3 – Pegada hídrica - Participação percentual por etapa de obra.

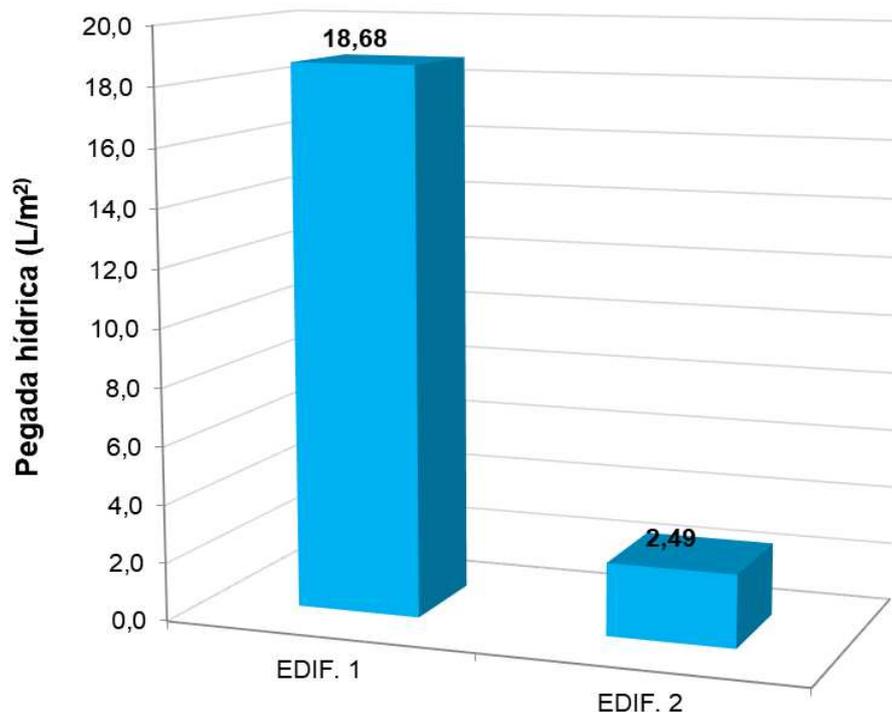


Fonte: Autora (2019).

Por fim, a análise do consumo de água – foi representada, por sua vez, em L pois a grandeza ficou melhor para visualização do resultado – por metro quadrado (L/m<sup>2</sup>) evidencia a diferença na eficiência hídrica por conta das escolhas de materiais, como mostra o Gráfico 4. Na Edificação 1, o consumo foi de 18,68 L/m<sup>2</sup>, resultado da utilização de materiais com maiores coeficientes de pegada hídrica, como a telha cerâmica e o bloco de concreto vazado

nas paredes. Na Edificação 2, o consumo foi de 2,49 L/m<sup>2</sup>, reflexo do uso de materiais como o alumínio na cobertura e nas janelas, e o bloco cerâmico vazado nas paredes, que possuem CPHs baixos.

Gráfico 4 – Resultado comparativo - Pegada hídrica por unidade de área construída (L/m<sup>2</sup>).



Fonte: Autora (2024).

Esses dados ressaltam a importância de considerar os coeficientes de pegada hídrica dos materiais na etapa de planejamento de uma edificação. A escolha de materiais com menores valores de CPH pode resultar em uma edificação com um impacto hídrico significativamente menor, tanto em termos de consumo total quanto de eficiência por área construída. Essa análise evidencia como as decisões durante o projeto podem influenciar o consumo de recursos hídricos e, conseqüentemente, o impacto ambiental da construção. A substituição de materiais com alta pegada hídrica, especialmente nas partes mais representativas da edificação, como paredes e pisos, pode ser uma estratégia ambientalmente eficaz.

#### 4.1 Soluções construtivas sustentáveis

A construção civil é um setor de grande importância, mas também um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais e por impactos ambientais, especialmente no que diz respeito à água. Com o aumento da conscientização sobre a sustentabilidade, surgem diversas iniciativas para reduzir a pegada hídrica do setor. Entre essas iniciativas, destacam-se as certificações de sustentabilidade e as boas práticas de gestão de recursos hídricos, que podem desempenhar um papel fundamental na minimização dos impactos ambientais da construção.

Uma das ferramentas mais eficazes para garantir a sustentabilidade de um edifício é a obtenção de certificações de sustentabilidade, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental). O LEED, desenvolvido pelo U.S. Green Building Council (USGBC), é um sistema de classificação amplamente reconhecido, que avalia a sustentabilidade de edifícios em diversas categorias, incluindo a eficiência hídrica (GBC Brasil, 2021). Essa certificação incentiva práticas como a instalação de dispositivos de baixo fluxo (torneiras, chuveiros, vasos sanitários) e sistemas de irrigação eficientes, que podem reduzir significativamente o consumo de água. O selo LEED promove o reúso de águas cinzas e a captação e tratamento de água da chuva, que permitem a redução da dependência da água potável para usos não potáveis (GBC Brasil, 2021).

A certificação AQUA, desenvolvida no Brasil pelo Instituto Brasileiro de Informação em Tecnologia para Construção (IBS) e aplicada pela Fundação Vanzolini, adota critérios semelhantes, mas com ênfase em tecnologias adaptadas à realidade local. Ela também avalia a gestão de águas pluviais, o reúso de águas e o uso de materiais e sistemas que promovem a eficiência hídrica (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2023).

Essas certificações não apenas estimulam o uso racional de recursos naturais, mas também contribuem para uma gestão sustentável, promovendo edificações que minimizam seus impactos ambientais e maximizam benefícios econômicos e sociais. Dessa forma, tornam-se ferramentas indispensáveis para o avanço da sustentabilidade no setor da construção civil.

Além das certificações, é fundamental adotar boas práticas para a redução do consumo de água na construção e operação dos edifícios. Entre essas práticas, destaca-se o uso de dispositivos de baixo fluxo, que podem reduzir o consumo de água em até 30% (GBC BRASIL, 2021). A instalação de sistemas de irrigação eficientes, como o gotejamento ou

sistemas automatizados que ajustam o uso da água com base em variáveis como umidade do solo e condições climáticas, pode diminuir o consumo de água para áreas externas em até 50% em comparação com os métodos tradicionais de irrigação (GBC BRASIL, 2021).

A captação de água da chuva é outra prática relevante, permitindo o armazenamento de água para usos não potáveis, como irrigação, lavagem e descargas de vasos sanitários. Em algumas regiões, essa prática pode reduzir em até 40% a demanda por água potável, o que não só contribui para a sustentabilidade do edifício, mas também ajuda a reduzir a pressão sobre os sistemas de abastecimento público (GBC BRASIL, 2021).

Outra prática importante para a redução da pegada hídrica é o uso de águas cinzas, que são provenientes de pias e chuveiros. O reúso dessas águas em sistemas de irrigação ou para descarga de vasos sanitários pode representar uma economia de até 50% da água consumida em edifícios. A utilização dessas águas reduz a carga sobre o sistema de abastecimento e promove a sustentabilidade na gestão de recursos hídricos (MALDONADO, 2019).

A escolha de materiais de construção ecológicos, com menor pegada hídrica durante sua produção, é uma boa solução estratégica. Materiais como blocos de terra comprimida, madeira certificada ou materiais reciclados têm uma pegada hídrica reduzida quando comparados aos materiais convencionais, como concreto e cerâmica. Optar por esses materiais não só ajuda a reduzir a demanda de água na produção, mas também contribui para a diminuição do impacto ambiental total da construção.

Essas soluções, quando combinadas, não apenas reduzem a pegada hídrica de um projeto, mas também promovem um uso mais eficiente dos recursos naturais e aumentam a sustentabilidade das construções. A implementação dessas práticas, juntamente com a busca por certificações de sustentabilidade, pode transformar o setor da construção civil em um modelo de eficiência e responsabilidade ambiental. Dessa forma, a adoção de soluções sustentáveis não se limita apenas ao cumprimento de normas e certificações, mas também promove uma mudança cultural no setor, estimulando a busca por inovações que respeitem os limites do planeta e favoreçam a conservação dos recursos hídricos para as gerações futuras.

## 5 - CONCLUSÃO

O estudo realizado insere-se em um contexto de crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão dos recursos hídricos no setor da construção civil, reforçando a importância de iniciativas que promovam uma transformação no setor. O conceito de pegada hídrica emerge como uma ferramenta fundamental para quantificar e compreender o impacto do uso da água, contribuindo para decisões mais conscientes e sustentáveis.

Neste trabalho, utilizou-se uma planilha desenvolvida com base na planilha CasaCO, que tem sido aplicada no Departamento de Construção Civil da UFJF. A CasaCO já atravessou diversos trabalhos acadêmicos e, com base nela, foi possível criar uma ferramenta adaptada para calcular a pegada hídrica de edificações. Em um futuro breve, assim como já ocorreu para a versão de cálculo de CO<sub>2</sub> embutido dos materiais de construção, vislumbra-se a possibilidade de transformar a versão de pegada hídrica em um programa online, ampliando seu alcance e potencial de aplicação.

Mais do que os avanços técnicos apresentados, destaca-se a necessidade de consolidar uma cultura de sustentabilidade na construção civil, que ainda se encontra em estágio inicial no país. Há um vasto campo de possibilidades para futuras pesquisas, que podem englobar desde o refinamento de metodologias de cálculo e análise até o desenvolvimento de materiais inovadores e políticas públicas que visem reduzir os impactos ambientais e promover uma gestão hídrica mais eficiente.

A partir da comparação entre as duas edificações analisadas, ficou evidente que a escolha criteriosa dos materiais pode resultar em reduções significativas no consumo de água associado à construção. A Edificação 1, por exemplo, apresentou um consumo total de 105,36 m<sup>3</sup> de água, enquanto a Edificação 2 consumiu apenas 14,06 m<sup>3</sup>, o que representa uma redução de aproximadamente 86,65%. Essa diferença está diretamente relacionada aos materiais selecionados, destacando a importância de considerar o coeficiente de pegada hídrica (CPH) durante o projeto.

Entre os elementos analisados, a cobertura se destacou como o componente com maior impacto hídrico na Edificação 1, devido ao uso de telhas cerâmicas, com um consumo de 49,61 m<sup>3</sup> de água, evidenciando como a escolha deste material influencia fortemente o resultado

final. Por outro lado, a opção pelo alumínio na Edificação 2, com um consumo de apenas 2,10 m<sup>3</sup>, demonstra que alternativas com menor CPH podem ser mais sustentáveis.

Além disso, a análise do consumo de água por metro quadrado (L/m<sup>2</sup>) reforça essa constatação, com a Edificação 1 registrando 18,68 L/m<sup>2</sup> e a Edificação 2 apenas 2,49 L/m<sup>2</sup>, o que comprova a eficiência hídrica alcançada por meio da seleção de materiais adequados.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a necessidade de incorporar o conceito de pegada hídrica na escolha dos materiais de construção desde a etapa de projeto, possibilitando a construção de edificações mais eficientes e com menor impacto ambiental. Também revelam o potencial das ferramentas de cálculo como suporte para tomadas de decisão mais conscientes, colaborando para o avanço da sustentabilidade no setor da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ALLIANCE FOR WATER EFFICIENCY. **Water Efficiency as Stimulus and Long-Term Investment**. Chicago, IL, 2008.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014**. Brasília: ANA, 2014.

ANDRADE, Luísa Corsini de. **Estudo para redução das emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida de edificações habitacionais por meio do reuso de materiais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

ARAÚJO, D. C. de; ALVES, T. M. **Comparação da pegada hídrica do sistema convencional de abastecimento e da captação de água de chuva**. In: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2019.

AURGENBROE, G.; PEARCE, A. R. **Sustainable construction in the United States of America: a perspective to the year 2010**. In: 14th INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION, CIB-W82 Report, Suécia, jun. 1998. Anais [...]. p. 1-32.

BARDHAN, S. **Assessment of water resource consumption in building construction in India**. *Ecosystems and Sustainable Development*, v. 144, p. 93-101, 2011. DOI: 10.2495/ECO110081.

BARDHAN, S.; CHOUDHURI, I. R. **Studies on virtual water content of urban buildings in India**. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 9, n. 6, p. 01-08, 2016. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i6/87671.

BUXMANN, K.; KOEHLER, A.; THYLMANN, D. **Water scarcity footprint of primary aluminium**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 21, n. 5, p. 1605-1615, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0997-1>.

CBIC. **Catálogo de Normas Técnicas de Edificações – Edição 2017**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2017. Disponível em: [https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Catalogo\\_de\\_Normas\\_Tecnicas\\_2017.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Catalogo_de_Normas_Tecnicas_2017.pdf). Acesso em: 15 nov. 2024.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção civil confirma expectativas e cresce forte pelo segundo ano**. 2023. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-civil-confirma-expectativas-e-cresce-forte-pelo-segundo-ano/>. Acesso em: 11 fev. 2025.

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL / PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas**. 110 p. 2014.

DING, G. K. C. **Sustainable construction: the role of environmental assessment tools**. *Journal of Environmental Management*, v. 86, n. 3, p. 451-464, 2008.

FUKASAWA, B.; OLIVEIRA, M. R.; CAVALLINI, L. C.; SODRÉ, V. D. de A. **Guia metodológico de cálculo de pegada hídrica para edificações**. São Paulo: SINDUSCON-SP, 2019. 147 p.

- FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE™**. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- GBC BRASIL. **Economia de água para todos com o LEED v4.1**. 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/economia-de-agua-para-todos-com-o-leed-v4-1/>. Acesso em: 17 dez. 2024.
- GLEICK, P. H. **Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources**. New York: Oxford University Press, 1993.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Water footprints of nations: uso de água pelas pessoas como uma função de seu padrão de consumo**. Gestão de Recursos Hídricos, 2007.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard for the water footprint of products, processes and organizations**. Earthscan, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. Londres: Earthscan, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint of crops and livestock: a global perspective**. Water Footprint Network, 2009.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint of humanity**. Anais da Academia Nacional de Ciências, 109(9), p. 3232, 2012. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/109/9/3232>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of modern consumer society**. Routledge, 2004.
- HOOGENBOOM, G. et al. **Sustainable materials and their water footprint in construction**. International Journal of Water Resources and Development, 2017.
- HOSSEINIAN, S. M.; GHAHARI, S. M. **The relationship between structural parameters and water footprint of residential buildings**. Journal of Cleaner Production, v. 279, p. 1-14, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123562.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Levantamento de dados para a base Ecoinvent: Inventários brasileiros de cimentos, concretos e produtos cimentícios**. 2018.
- KERMELI, K.; WORRELL, E.; NEELIS, M. **Water footprint of steel production**. Journal of Industrial Ecology, v. 14, n. 6, p. 797-809, 2010.
- KOROL, Jerzy; HEJNA, Aleksander; BURCHART-KOROL, Dorota; CHMIELNICKI, Błażej; WYPIOR, Klaudiusz. **Water footprint assessment of selected polymers, polymer blends, composites, and biocomposites for industrial application**. Polymers, v. 11, n. 11, p. 1859, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11111859>.
- KUNTZ, Larissa Karoline Corrêa. **Pegada hídrica na construção civil: uso e impactos de alvenarias**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Sinop, 2021.
- MALDONADO, Andy Piccinini. **Implementação de sistemas de reuso de águas cinzas em uma edificação de médio porte: estudo de caso em um edifício em Florianópolis/SC**. 2019.

Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/245093>. Acesso em: 13 nov. 2024.

MARCEAU, M. L.; VANGEEM, M. G. **Water footprint of concrete mixtures**. Portland Cement Association, 2009.

MARQUES, C. T.; GOMES, B. M. F.; BRANDLI, L. L. **Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 79-90, dez. 2017.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. **Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de edifícios de habitação**. Revista da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2009.

MCCORMACK, A. et al. **Water footprint and virtual water assessment in the construction sector**. Journal of Environmental Impact Studies, 2007.

OCTAVIA, Caesara; LAURENCE; HARTONO, Natalia. **Water footprint and life cycle assessment of concrete roof tile and brick products at PT. XYZ**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO ENGINEERING DEVELOPMENT, 2017, Tangerang. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 109, n. 1, p. 012006, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/109/1/012006>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ONU. Assembleia Geral. **Resolução reconhece direito humano à água e ao saneamento básico**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/774471-assembleia-da-onu-declara-direito-a-agua-mas-com-polemica.shtml>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SAADE, M. R. M. et al. **Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings**. Smart and Sustainable Built Environment, v. 3, n. 11, p. 54-71, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marcella\\_Saade/publication/273644737\\_Material\\_eco-efficiency\\_indicators\\_for\\_Brazilian\\_buildings](https://www.researchgate.net/profile/Marcella_Saade/publication/273644737_Material_eco-efficiency_indicators_for_Brazilian_buildings). Acesso em: 13 out. 2024.

SOUZA, J. L. **Proposta metodológica de cálculo para pegada hídrica na construção civil imobiliária. 2014**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014\\_tese\\_jlsouza.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014_tese_jlsouza.pdf). Acesso em: 13 out. 2024.

TCPO. **Tabela de Composições de Preços para Orçamento**. São Paulo: PINI, 2010.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. de. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, n. 109, p. 9-26, jul./dez. 2006. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/138/128>. Acesso em: 15 set. 2024.

UNEP-SBCI – United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative. **Join the Global Platform for Sustainable Buildings**. 12 p. 2012.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: Água e Mudança Climática**. Paris: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), 2020. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372876>. Acesso em: 15 dez. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **The Global Environment Outlook (GEO-6): Healthy Planet, Healthy People**. Nairobi, Kenya: UNEP, 2021.

USDA. **Wood and the Environment: A Life Cycle Assessment of Wood Products**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2019.

USGS. **Water use in the United States: 2015**. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/cir1405>. Acesso em: 14 nov. 2024.

YANG, H.; ZEHNDER, A. J. B.; XU, Z. **Water scarcity and pollution in the 21st century: Global trends and regional perspectives**. Water Resources Research, 2019.

WATER FOOTPRINT NETWORK. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Londres: Earthscan, 2011.

WATER FOOTPRINT NETWORK. **WaterStat: Global Water Footprint Database**. 2016. Disponível em: <https://www.waterfootprint.org/en/resources/waterstat/>. Acesso em: 14 nov. 2024.

WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN). **What is Water Footprint?** 2013. Disponível em: <https://waterfootprint.org>. Acesso em: 8 nov. 2024.

WERNET, G. et al. **The ecoinvent database version 3 (part I) overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Water for business: Initiatives and opportunities**. World Business Council for Sustainable Development, 2009. Disponível em: <https://www.wbcd.org>. Acesso em: 14 nov. 2024.

WRAP. **Water Footprint of Timber and Timber Products. Waste & Resources Action Programme**, 2013.

WRI. **Analyzing Mass Timber's Climate Impact**. World Resources Institute, 2023. Disponível em: <https://www.wri.org>. Acesso em: 8 nov. 2024.

WWAP – UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 2015: **Water for a Sustainable World**. Paris: UNESCO, 2015.

WWAP – UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 2017: **Wastewater, the Untapped Resource**. Paris: UNESCO, 2017.

WWF BRASIL. **Water Footprint: A Água que Você Consome**. 2011. Disponível em: <https://www.wwf.org.br>. Acesso em: 8 nov. 2024.

## ANEXO A – COEFICIENTE DE PEGADA HÍDRICA POR SERVIÇO

### ALVENARIA

**Serviço: Alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos maciços 5x10x20cm (junta de 12 mm) assentados com arg. 1:2:8 (cimento, cal, areia).**

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 4,55    | 2,40        | 1,09200           |
| Cal hidratada               | kg             | 4,55    | 1,52        | 0,69160           |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,03    | 1,38        | 0,00420           |
| Bloco cerâmico              | un             | 77,00   | 0,71        | 5,49780           |
| <b>Σ=</b>                   |                |         |             | <b>7,29</b>       |

**Serviço: Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos vazados 9x19x19 (junta de 12 mm) assentados com arg. 1:2:8 (cimento, cal, areia).**

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 2,18    | 2,40        | 0,52320           |
| Cal hidratada               | kg             | 2,18    | 1,52        | 0,33136           |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,015   | 1,38        | 0,00207           |
| Bloco cerâmico              | un             | 25,00   | 1,18        | 2,95000           |
| <b>Σ=</b>                   |                |         |             | <b>3,81</b>       |

**Serviço: Alvenaria de vedação com blocos de concreto furado 14x19x29 cm (junta de 12 mm) assentados com arg. 1:2:8 (cimento, cal, areia).**

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 2,18    | 2,40        | 0,52320           |
| Cal hidratada               | kg             | 2,18    | 1,52        | 0,33136           |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,015   | 1,38        | 0,00207           |
| Bloco de concreto           | un             | 13,00   | 17,56       | 22,82800          |
| <b>Σ=</b>                   |                |         |             | <b>23,68</b>      |

## REVESTIMENTOS

---

**Serviço: Chapisco com argamassa 1:3 e = 5 mm (interno, externo e teto)**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 2,92    | 2,40        | 7,01              |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,01    | 1,38        | 0,01              |
|                             |                |         | <b>Σ=</b>   | <b>7,02</b>       |

---

---

**Serviço: Emboço argamassa 1:2:8 e = 20 mm (interno e teto)**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 3,64    | 2,40        | 4,37              |
| Cal hidratada               | kg             | 3,64    | 1,52        | 2,77              |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,02    | 1,38        | 0,02              |
|                             |                |         | <b>Σ=</b>   | <b>7,15</b>       |

---

---

**Serviço: Contrapiso de cimento e areia 1:5 e = 1 cm**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo                      | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Cimento Portland CP-II E-32 | kg             | 2,92    | 2,40        | 7,01              |
| Areia                       | m <sup>3</sup> | 0,012   | 1,38        | 0,02              |
|                             |                |         | <b>Σ=</b>   | <b>7,02</b>       |

---

---

**Serviço: Argamassa colante**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

| Insumo            | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-------------------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Argamassa colante | kg      | 4,50    | 0,80        | 3,60              |
|                   |         |         | <b>Σ=</b>   | <b>3,60</b>       |

---

| <b>Serviço: Revestimento azulejo/cerâmica</b> |                |         |             |                   |
|-----------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                      | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                   | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                        | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Azulejo                                       | m <sup>2</sup> | 1,10    | 12,00       | 0,13              |
|                                               |                |         |             | <b>Σ= 0,13</b>    |

| <b>Serviço: Concreto Estrutural 25 MPa, concreto controle tipo A</b> |                |         |             |                   |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                                             | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                                          | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                                               | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Cimento Portland CP-II E-32                                          | kg             | 349,00  | 2,40        | 8,3760            |
| Brita                                                                | m <sup>3</sup> | 0,84    | 93,80       | 0,7879            |
| Areia                                                                | m <sup>3</sup> | 0,87    | 1,38        | 0,0120            |
| Aço CA50                                                             | kg             | 80,00   | 67,30       | 53,84             |
|                                                                      |                |         |             | <b>Σ= 63,02</b>   |

| <b>Serviço: Revestimento piso madeira (Angelim) esp. 2 cm</b> |                |         |             |                   |
|---------------------------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                                      | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                                   | 1,00           |         |             |                   |
| Insumo                                                        | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Revestimento madeira                                          | kg             | 15,62   | 1,070       | 16,71             |
|                                                               |                |         |             | <b>Σ= 16,71</b>   |

#### COBERTURA

| <b>Serviço: Cobertura com telha de alumínio envernizada ou pintada, perfil ondulado</b> |                |         |             |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|-------------|-------------------|
| Unidade:                                                                                | m <sup>2</sup> |         |             |                   |
| Quantidade:                                                                             |                |         |             |                   |
| Insumo                                                                                  | Unidade        | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
| Alumínio                                                                                | kg             | 1,97    | 18,20       | 35,85             |
|                                                                                         |                |         |             | <b>Σ= 35,85</b>   |

**Serviço: Cobertura com telha de fibrocimento**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

| Insumo                | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-----------------------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Telha de fibrocimento | un      | 0,37    | 198,40      | 73,41             |
|                       |         |         |             | <b>Σ= 73,41</b>   |

**Serviço: Cobertura com telha de concreto (largura útil 320 mm)**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

| Insumo            | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-------------------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Telha de concreto | un      | 11,00   | 21,38       | 235,18            |
|                   |         |         |             | <b>Σ= 235,18</b>  |

**Serviço: Cobertura com telha cerâmica com argamassa de cimento, cal hidratada e areia / traço 1:2:9 / i = 35%**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

| Insumo            | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|-------------------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Telha de cerâmica | un      | 16,00   | 26,50       | 424,00            |
|                   |         |         |             | <b>Σ= 424,00</b>  |

## JANELAS

**Serviço: Janela de alumínio padronizada, colocação e acabamento de correr, dimensões 1,20x1,50m**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

| Insumo   | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|----------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Alumínio | kg      | 11,70   | 18,20       | 212,94            |
|          |         |         |             | <b>Σ= 212,94</b>  |

---

**Serviço: Janela de aço padronizada, colocação e acabamento de correr, dimensões**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

---

| Insumo        | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|---------------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Perfil de aço | kg      | 12,00   | 67,30       | 807,60            |
|               |         |         |             | <b>Σ= 807,60</b>  |

---

---

**Serviço: Janela de madeira (Angelim) padronizada, colocação e acabamento de correr, dimensões 1,20 x 1,50 m**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

---

| Insumo  | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|---------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Madeira | kg      | 19,520  | 1,070       | 20,89             |
|         |         |         |             | <b>Σ= 20,89</b>   |

---

---

**Serviço: Janela de PVC, dimensões 0,60 x 0,60m**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

---

| Insumo | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|--------|---------|---------|-------------|-------------------|
| PVC    | kg      | 4,60    | 80,00       | 368,00            |
|        |         |         |             | <b>Σ= 368,00</b>  |

---

**PORTAS**

---

**Serviço: Porta de alumínio 70 x 210 com veneziana, uma folha.**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

---

| Insumo   | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|----------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Alumínio | kg      | 9,00    | 18,20       | 163,80            |
|          |         |         |             | <b>Σ= 163,80</b>  |

---

---

**Serviço: Porta interna maciça em Angelim, 0,80 x 2,10m, esp. 2,5 cm**

---

Unidade: m<sup>2</sup>  
Quantidade: 1,00

---

| Insumo  | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | LH <sub>2</sub> O |
|---------|---------|---------|-------------|-------------------|
| Madeira | kg      | 21,30   | 1,07        | 22,79             |
|         |         |         |             | <b>Σ= 22,79</b>   |

---

**Serviço: Porta interna maciça em aço, 0,80 x 2,10 m**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

---

| Insumo        | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | <i>LH<sub>2</sub>O</i> |
|---------------|---------|---------|-------------|------------------------|
| Perfil de aço | kg      | 10,00   | 67,30       | 6,7300                 |
|               |         |         |             | <b>Σ= 6,73</b>         |

---

**Serviço: Porta interna maciça em PVC 0,70 x 2,10m**Unidade: m<sup>2</sup>

Quantidade: 1,00

---

| Insumo | Unidade | Consumo | CPH (kg/un) | <i>LH<sub>2</sub>O</i> |
|--------|---------|---------|-------------|------------------------|
| PVC    | kg      | 4,30    | 80,00       | 344,00                 |
|        |         |         |             | <b>Σ= 344,00</b>       |

---