



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Modelação BIM dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais

Valentina Parcianello Eccel

Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida
Professor Doutor Cleovir José Milani

Novembro de 2023



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Modelação BIM dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais

Valentina Parcianello Eccel

Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida

Professor Doutor Cleovir José Milani

Novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Alcir e Taize, por fazerem dos meus sonhos os deles, por serem incentivo e por serem os melhores exemplos de pessoas e profissionais que eu poderia ter.

A minha irmã, Joana, por ser minha melhor amiga, me entender como ninguém e por me apoiar em tudo.

Aos meus amigos e todos aqueles que cruzaram meu caminho nessa jornada e que de alguma forma contribuíram para eu me tornar quem eu sou hoje.

Ao meu treinador de corrida e meus colegas de esporte, por terem tornado essa etapa da minha vida muito mais leve e saudável.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Instituto Politécnico de Viseu por me proporcionarem experiências tão valiosas e enriquecedoras.

A todos os meus professores, em especial ao meu orientador Ricardo Almeida, meu coorientador Cleovir Milani e a empresa Riportico por permitir que tal trabalho acontecesse.

Sem vocês não teria sido possível.

*“O desleixo em alargar a visão manteve
muita gente fazendo a mesma coisa a vida inteira”*

Napoleon Hill

RESUMO

A indústria da construção civil requer colaboração multidisciplinar e eficiente entre profissionais de engenharia e arquitetura. O Building Information Modeling (BIM) surge como uma solução para integrar essas áreas, usando modelos digitais para otimizar o planejamento e execução de projetos complexos. Softwares como o Revit e o CYPE são usados para diferentes aspectos do projeto, permitindo a integração e identificação de erros. No entanto, a aplicação desses softwares é ineficaz sem uma compreensão adequada das normas vigentes, enfatizando a importância do estudo normativo para análise precisa dos resultados, uma vez que podem existir diferenças no dimensionamento entre as metodologias tradicionais e as metodologias BIM.

A presente dissertação é a apresentação de um estágio focado em resolver a ausência dos projetos das redes hidráulicas na sede da empresa RIPORTICO. Os trabalhos tiveram início com o desenvolvimento do modelo arquitetônico utilizando o software Revit. O desenvolvimento dos projetos da rede de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais foi desenvolvido utilizando o método tradicional e o software CYPE, e os resultados foram então comparados.

Durante os trabalhos foi testada também a interoperabilidade entre os softwares e a eficiência da troca de informação entre eles. Foi testada também o uso da plataforma BIMserver.center como forma de compatibilização dos projetos desenvolvidos.

Por fim, concluiu-se que o dimensionamento realizado da forma tradicional e pelo CYPE apresentou resultados muito semelhantes devido a possibilidade de alteração de parâmetros do software, sendo uma boa forma de otimização dos trabalhos.

Palavras-chave: BIM, Revit, CYPE, Decreto Regulamentar nº23/95, rede de abastecimento de água, rede de drenagem de água

ABSTRACT

The construction industry requires multidisciplinary and efficient collaboration between engineering and architecture professionals. Building Information Modeling (BIM) appears as a solution to integrate these areas, using digital models to optimize the planning and execution of complex projects. Software such as Revit and CYPE are used for different aspects of the project, allowing integration and identification of errors. However, the application of these software is ineffective without an adequate understanding of the current standards, emphasizing the importance of the normative study for accurate analysis of the results, since there may be differences in sizing between traditional methodologies and BIM methodologies.

This dissertation is the presentation of an internship focused on resolving the lack of hydraulic network models at the headquarters of the company RIPORTICO. The work began with the development of the architectural model using Revit software. The development of the water supply and wastewater drainage network projects was developed using the traditional method and CYPE software, and the results were then compared.

During the work, interoperability between software and the efficiency of exchanging information between them were also tested. The use of the BIMserver.center platform was also tested as a way of making the projects developed compatible.

Finally, it was concluded that the design carried out in the traditional way and by CYPE presented very similar results due to the possibility of changing software parameters, being a good way of optimizing the work.

Keywords: BIM, Revit, CYPE, Decreto Regulamentar n°23/95, water supply network, water drainage network.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos da investigação	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Metodologia BIM	4
2.1.1. Breve enquadramento histórico	4
2.1.2. Implementação BIM	6
2.1.3. Open BIM	9
2.1.4. BIMserver.center	12
2.2. Aplicação do BIM em Portugal	13
2.3. Modelação BIM de redes prediais	13
2.3.1. Softwares	13
2.3.2. Exemplos em Portugal	16
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. Descrição da empresa	19
3.2. Descrição dos trabalhos.....	21
4. RESULTADOS	23
4.1. Conceção do modelo arquitetónico tridimensional do edifício	23
4.2. Estudo da interoperabilidade entre softwares	24
4.3. Modelação da rede de distribuição de água	26
4.4. Critérios de cálculo para a rede de distribuição de água pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95	26
4.4.1. Material das tubulações	27
4.4.2. Nível de conforto	28
4.4.3. Dispositivos de utilização, caudais instantâneos, caudal acumulado e caudais de cálculo.....	28

4.4.4.	Velocidade mínima e máxima admitidas.....	35
4.4.5.	Diâmetro de cálculo, diâmetro comercial e diâmetro exterior.....	35
4.4.6.	Perdas de carga contínua e localizada	37
4.4.7.	Pressão na rede	39
4.5.	Critérios de cálculo para a rede de distribuição de água pelo CYPE	43
4.5.1.	Material das tubulações	44
4.5.2.	Nível de conforto e caudal de cálculo.....	45
4.5.3.	Dispositivos de utilização e caudais instantâneos	46
4.5.4.	Velocidade mínima e máxima admitidas.....	48
4.5.5.	Perdas de carga contínua e localizada	48
4.5.6.	Pressão na rede	49
4.5.7.	Dimensionamento da rede de abastecimento.....	49
4.6.	Comparação dos resultados	50
4.7.	Critérios de cálculo para a rede de drenagem de águas residuais domésticas	53
4.7.1.	Material das tubulações	54
4.7.2.	Nível de conforto	54
4.7.3.	Dispositivos de utilização, caudais de descarga, caudal acumulado e caudal de cálculo	54
4.7.4.	Ramais de descargas individuais	56
4.7.5.	Ramais de descargas não individuais.....	61
4.7.6.	Tubos de queda	64
4.7.7.	Coletores prediais	67
4.7.8.	Ventilação	68
4.8.	Critérios de cálculo para a rede de drenagem de águas residuais pelo CYPE	68
4.8.1.	Material das tubulações	69

4.8.2.	Nível de conforto e taxa de ocupação	69
4.8.3.	Caudal de cálculo e ramais de descarga individuais.....	70
4.8.4.	Tubagens horizontais	71
4.8.5.	Tubagens verticais	72
4.8.6.	Dimensionamento da rede de drenagem.....	73
4.9.	Comparação dos resultados	74
4.10.	BIMserver.center.....	77
5.	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS.....	79
6.	ANEXO A.....	82
7.	ANEXO B.....	84
8.	ANEXO C.....	86
9.	ANEXO D.....	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Caudais instantâneos.....	28
Tabela 2: Número de fluxômetros em utilização simultânea.	31
Tabela 3: Cálculo dos caudais acumulados e de cálculo.	35
Tabela 4: Cálculo dos diâmetros e verificação da velocidade.	37
Tabela 5: Cálculo das perdas de cargas.	39
Tabela 6: Cálculo da pressão necessária na rede pública.	41
Tabela 7: Cálculo dos caudais acumulados e de cálculo.	42
Tabela 8: Cálculo dos diâmetros e verificação da velocidade.	42
Tabela 9: Cálculo das perdas de cargas.	43
Tabela 10: Cálculo da pressão necessária na rede pública.	43
Tabela 11: Caudais de descarga.....	55
Tabela 12: Diâmetros mínimos dos ramais de descarga individuais.	56
Tabela 13: Caudais de descarga, cálculo dos caudais de cálculo e diâmetro mínimo estabelecido.	61
Tabela 14: Dimensionamento dos ramais de descarga não individuais (Pedroso, 2000).	64
Tabela 15: Cálculo dos caudais acumulados, de cálculo e diâmetro estabelecido.	64
Tabela 16: Dimensionamento dos tubos de queda (Pedroso, 2000).	66
Tabela 17: Diâmetro do tubo de queda em função da taxa de ocupação (Pedroso, 2000).	67
Tabela 18: Cálculo dos caudais acumulados, de cálculo e diâmetro estabelecido e verificação do caudal.	67
Tabela 19: Diâmetro dos coletores prediais (Pedroso, 2000).	68
Tabela 20: Cálculo dos diâmetros nominais e internos para o coletor predial. ..	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de trabalho colaborativo do BIM.	7
Figura 2: Comparação entre os processos de construção tradicionais (2D) e a metodologia BIM centrada no IFC.	8
Figura 3: Fluxo de trabalho OpenBIM	10
Figura 4: Esquema da partilha do modelo arquitetónico para as especialidades.	17
Figura 5: Processo iterativo entre as especialidades.	17
Figura 6: Logo da empresa.	19
Figura 7: Fluxograma da metodologia dos trabalhos.	22
Figura 8: Vista isométrica exterior da modelação do edifício – lado 1.	23
Figura 9: Vista isométrica exterior da modelação do edifício – lado 2.	23
Figura 10: Vista isométrica com detalhes interiores do edifício.	24
Figura 11: Aba de trabalho do BIMServer.center.	25
Figura 12: Modelo BIM gerado no CYPE.	25
Figura 13: Falhas na transferência entre programas.	26
Figura 14: Fluxograma do processo de cálculo da rede de distribuição de água.	27
Figura 15: Caudais de cálculo, em função dos caudais acumulados para um nível de conforto médio	30
Figura 16: Estudo rede de abastecimento 2º pavimento.	32
Figura 17: Estudo rede de abastecimento 1º pavimento.	33
Figura 18: Estudo rede de abastecimento rés do chão.	34
Figura 19: Ábaco da correlação entre os valores do caudal, do diâmetro, da perda de carga e da velocidade.	36
Figura 20: Interface do CYPE para as opções de desenhos e de cálculo.	44
Figura 21: Interface do CYPE para a importação de configurações.	44
Figura 22: Inserção da plataforma OB Database no CYPE.	45
Figura 23: Escolha da equação para nível de conforto no CYPE.	45
Figura 24: Ajuste do nível de conforto no CYPE.	45
Figura 25: Coeficientes adotados de acordo com o nível de conforto no CYPE.	46
Figura 26: Consumos inseridos na biblioteca do CYPE.	46
Figura 27: Dados de dimensionamento e verificação pré-estabelecidos pelo CYPE.	47

Figura 28: Interface da janela onde há possibilidade de alteração de parâmetros dos consumos no CYPE.	47
Figura 29: Velocidades mínimas e máximas pré-estabelecidas pelo CYPE.	48
Figura 30: Dados do dimensionamento conforme CYPE.....	49
Figura 31: Verificações do dimensionamento conforme CYPE.....	50
Figura 32: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo método tradicional.	51
Figura 33: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo CYPE.....	52
Figura 34: Fluxograma do processo de cálculo da rede de drenagem de águas residuais.	54
Figura 35: Distância máxima entre sifão e seção ventilada (Pedroso, 2000).	57
Figura 36: Estudo rede de drenagem 2º pavimento.	58
Figura 37: Estudo rede de drenagem 1º pavimento.	59
Figura 38: Estudo rede de drenagem rés do chão.	60
Figura 39: Ábaco para dimensionamento com escoamento a meia seção $K=120$ $m^{1/3}/s$ (Pedroso, 2000).....	63
Figura 40: Ábaco para dimensionamento com escoamento a seção cheia $K=120$ $m^{1/3}/s$ (Pedroso, 2000).....	63
Figura 41: Ábaco para determinação do diâmetro dos tubos de queda (Pedroso, 2000).....	66
Figura 42: Inserção da plataforma OB Database no CYPE.....	69
Figura 43: Ajuste do nível de conforto no CYPE.....	70
Figura 44: Exemplo de descarga inseridos na biblioteca do CYPE.	71
Figura 45: Interface para inserção de tubagens horizontais no CYPE.	72
Figura 46: Interface para inserção de tubagens verticais no CYPE.....	73
Figura 47: Dados do dimensionamento conforme CYPE.....	73
Figura 48: Verificações do dimensionamento conforme CYPE.....	74
Figura 49: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo método tradicional.	75
Figura 50: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo CYPE.....	76
Figura 51: Aba de trabalho do BIMServer.center com a todas as contribuições.77	

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A indústria da construção civil possui uma linha de produção altamente complexa. O sucesso na conclusão de uma obra exige a contribuição de um conjunto de profissionais das mais diversas áreas da engenharia e arquitetura, e, para que tudo ocorra de forma organizada e eficaz, é fundamental um sistema de comunicação capaz de integrar projetistas, construtores, fornecedores e clientes. O Building Information Modeling (BIM) surge nesse contexto como um sistema capaz de promover e facilitar a integração entre as áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).

Por meio de um modelo digital é possível criar um fluxo de partilha de informação entre equipas, com elementos que possuem dados inteligentes, com o objetivo de otimizar o planeamento e a execução de projetos multidisciplinares.

Para agilizar a implementação da metodologia BIM estão disponíveis no mercado vários softwares destinados a cada área da engenharia de um edifício. Dois desses softwares são o Revit e o CYPECAD.

O primeiro, o Revit, é um software amplamente usado por profissionais da área de arquitetura, urbanismo e design, que possibilita a criação de modelos 3D detalhados e integrados com informações de projeto, como estrutura, mecânica, elétrica e hidráulica.

Relativamente ao CYPECAD, através dele é possível realizar cálculos estruturais, fazer simulações acústicas e energéticas, dimensionar sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais e pluviais e ainda modelar a arquitetura. Para cada aplicação existe uma ferramenta diferente, sendo possível integrar todos os projetos no final do trabalho e identificar todos os possíveis erros, falhas e incompatibilidades.

Entretanto, é de conhecimento geral que nada adianta a aplicação de softwares no dimensionamento e cálculo se o profissional não é capaz de analisar corretamente os resultados obtidos e saber se os mesmos foram realizados considerando os parâmetros e equações corretas. Dessa questão surge a importância do estudo e entendimento das normas em vigor.

O edifício da sede da empresa RIPORTICO, onde este estágio foi desenvolvido, não conta com o projeto das redes hidráulicas. Sabendo da importância destes modelos na gestão e manutenção destes edifícios, identificou-se uma oportunidade de colaboração. Assim, este estágio pretende dar uma resposta ao problema identificado pela empresa, aplicando os conhecimentos e competências adquiridas no âmbito das unidades

curriculares do Curso de Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação, juntamente com a utilização dos softwares citados.

1.2. Objetivos da investigação

Esse trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento dos projetos da rede de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais do edifício da sede da empresa RIPORTICO, utilizando ferramentas de modelação BIM. Para tal, identificaram-se os seguintes objetivos parciais que deverão ser cumpridos:

- a) Revisão bibliográfica sobre BIM, com foco nos programas orientados para a modelação dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais;
- b) Revisão bibliográfica sobre as normas que regulamentam os sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais;
- c) Dimensionamento das redes de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais de acordo com o Decreto Regulamentar nº 23/95;
- d) Testar o uso da plataforma BIMserver.center como forma de compatibilização dos projetos desenvolvidos;
- e) Modelagem e dimensionamento das redes no software CYPECAD e análise dos resultados obtidos;
- f) Comparação dos resultados obtidos no cálculo tradicional e com a utilização do software CYPECAD MEP.

1.3. Estrutura da dissertação

Essa pesquisa está dividida em 5 capítulos, sendo eles:

No capítulo 1, é feita uma introdução ao assunto, apresenta-se o tema e são definidos os objetivos pretendidos com o trabalho, assim como a justificativa para tal.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão da literatura, compreendida por tópicos referentes aos principais assuntos abordados nesta pesquisa, sendo eles: a metodologia BIM, partindo de um enquadramento histórico até sua aplicação atualmente em Portugal e a modelagem BIM de redes prediais.

No capítulo 3, é descrita a metodologia empregada nesse trabalho. É feita uma descrição da empresa envolvida no desenvolvimento da pesquisa e uma descrição dos trabalhos, organizado por meio de um fluxograma.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos com os estudos. A apresentação inicia-se com o dimensionamento realizado pelo método tradicional, e então com o dimensionamento obtido pelo software CYPE. Por fim, é feita uma comparação dos resultados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Metodologia BIM

2.1.1. Breve enquadramento histórico

As primeiras noções sobre uma metodologia capaz de integrar os processos da AEC surgem na publicação *Augmenting Human Intellect* de Douglas C. Engelbart, em 1962 (Venâncio, 2015), onde o autor desenvolve uma estrutura hierárquica de conceitos com o objetivo de aumentar a capacidade humana para resolver situações complexas de forma rápida e eficiente. Sabendo que todo pensamento e ação é composto por subprocessos, essa estrutura é baseada na união desses subprocessos com o objetivo de chegar a um processo final (Engelbart, 1962).

Na sequência, em 1963, surge o *Sketchpad*, o primeiro editor gráfico que possibilitava a criação de objetos e suas manipulações criado por Ivan Sutherlands durante o seu curso de doutorado.

Anos depois, em 1975, C. Eastman descreve a noção do modelo, saindo de uma visão 2D para uma em 3D. Segundo o autor, a representação ideal de um edifício combinaria os aspetos positivos das duas dimensões, incorporando uma forma fácil de visualização em três dimensões, com a capacidade de detetar quaisquer conflitos no espaço. Essa representação deveria ainda aceitar mudanças de forma facilitada, devendo ser capaz de se adaptar às escalas, permitindo as mais diversas formas de leitura e análises numéricas (Eastman, 1975).

Essa abordagem passou a ser referida como *building product models* (modelos de produto da construção) nos Estados Unidos e como *product information models* (modelos de informação de produto) na Europa. Da mescla desses termos, surge o *building information model* (BIM) (Menezes, 2011).

Em 1968, Robert Aish publica o artigo “*Building Modelling: the key to Integrated Construction CAD*”, tornando-se o primeiro a utilizar o termo com o significado atual. No referido artigo, Aish elencou todos os argumentos hoje conhecidos como BIM, além da tecnologia envolvida para implementá-los, incluindo a modelação tridimensional, a geração automática de desenhos, os componentes paramétricos, os bancos de dados relacionais e a descrição temporal das fases do processo construtivo, também conhecida como 4D.

Em paralelo aos estudos académicos, as empresas concentraram os seus esforços no desenvolvimento de softwares capazes de integrar todas as ideias que vinham surgindo de forma prática e eficaz.

Em 1984, Gábor Bojár desenvolve o software Radar CH, a versão inicial do ArchiCAD, e que marca o início do acesso a software BIM por parte de qualquer utilizador. Devido às tendências do mercado e às limitações dos computadores, este software não teve a adesão esperada (Venâncio, 2015).

Muitos dos comportamentos e funcionalidades atribuídos às gerações atuais dos softwares de criação e modelagem contaram com contribuições de programas comerciais mais antigos (Menezes, 2011).

O Revit, software amplamente utilizado, surge nos anos 90 como uma solução para gestão de projetos arquitetónicos mais complexos. Em 2002, a empresa Autodesk compra o programa e passa a promovê-lo como uma metodologia de trabalho colaborativa, que permite a integração das mais diversas especialidades num único modelo.

Outros exemplos, como o CYPE, que teve seu desenvolvimento iniciado nos anos 80 com foco no campo das estruturas, foi-se ampliando para atender às exigências do mercado, abrangendo, hoje, uma gama diversificada de especialidades.

A tendência que se observa é de uma evolução constante, sabendo que, além das facilidades possibilitadas pela adoção do BIM no setor da AEC, vários países têm publicado normas e regulamentos específicos, tornando obrigatória a implementação dessas ferramentas em projetos de obras públicas.

Na Ásia, em Singapura, a principal organização que rege a indústria da construção é a BCA (Building and Construction Authority), uma agência governamental que trabalha no desenvolvimento de bibliotecas de objetos e diretrizes de colaboração de projetos, além de patrocinar cursos de treinamento de softwares, tanto em universidades como fora delas (Khemlani, 2012).

Na Europa, o governo do Reino Unido publicou em 2011 um documento que leva o nome de “Government Construction Strategy”, com uma seção voltada totalmente para a modelagem de informações da construção. O documento definiu metas para que o nível de maturidade de implementação do BIM crescesse de forma acelerada. O país é hoje com maior amplo grau de difusão dos processos BIM no setor da AEC da Europa (ACCA Software, 2018).

Os países nórdicos da Noruega, Dinamarca, Suécia e Finlândia estão entre os primeiros a adotar as tecnologias BIM, com normas e requisitos públicos já em vigor há algum tempo (ACCA Software, 2019). Este facto fez com que vários dos principais fornecedores de tecnologia AEC se sediassem lá, tendo uma grande participação no

impulso do desenvolvimento da interoperabilidade entre softwares e na disseminação do uso de padrões abertos (Khemlani, 2012).

Nos Estados Unidos, a GSA (General Services Administration) é responsável por gerenciar e apoiar o funcionamento básico das agências federais. Em 2003, através do seu Serviço de Edifícios Públicos (PBS), estabeleceu o Programa Nacional 3D-4D-BIM (GSA, 2022). Entretanto, após uma primeira fase de crescimento, o processo de transformação da indústria da construção vem perdendo a sua dinâmica devido à alta fragmentação entre os Órgãos federativos e os Estados (ACCA Software, 2019).

No Brasil, o Decreto 10.306/2020 torna obrigatória a utilização do BIM para obras públicas até 2028 (ACCA Software, 2020).

Em resumo, atualmente, a aplicação da metodologia BIM já é um fato em grande parte dos países pelo mundo, mesmo de forma orgânica e não somente em resposta a exigências oficiais.

2.1.2. Implementação BIM

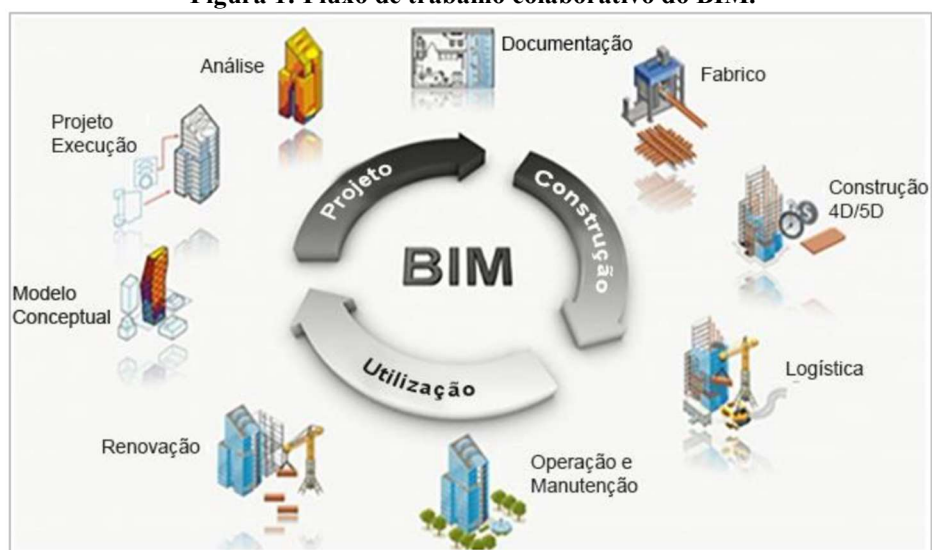
Os conceitos de parametrização, interoperabilidade e colaboração são o que sustenta a ideia do Building Information Modeling (BIM) na AEC. Diferente de um modelador 3D, a plataforma BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores na elaboração de um modelo virtual preciso, o qual gera uma base de dados que contém informações topológicas, dados necessários para o orçamento, cálculo energético e previsão das fases da construção, entre outras possibilidades (Menezes, 2011).

A criação de objetos paramétricos possibilita a sua edição, gerando objetos que são atualizados de forma automática. Esse conceito também surge na atribuição de propriedades ao objeto, como medidas, materiais, fabricantes, que vão constituir uma base de dados do projeto final.

A interoperabilidade é a capacidade dos softwares de trabalharem de forma conjunta, utilizando padrões de modelos abertos que são capazes de funcionar em programas diferentes sem a perda de dados e informações. A interoperabilidade é entendida como a capacidade de identificar os dados necessários para serem passados entre aplicativos (Eastman, 2011). Se existe uma boa interoperabilidade elimina-se a necessidade de réplica de dados de entrada, que já tenham sido criados e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos, durante o processo de projeto (Andrade e Ruschel, 2009).

Unindo esses conceitos com a ideia de colaboração, temos um fluxo de trabalho composto por profissionais das mais diversas especialidades trabalhando em conjunto e de forma simultânea, contribuindo para a elaboração de um modelo central. A metodologia BIM pressupõe a existência de um sistema colaborativo entre os intervenientes no processo, desde o dono de obra à equipa de projeto, até ao construtor e fabricante, passando posteriormente para o gestor do edifício ou dono de obra o arquivo com toda a informação – o modelo BIM (Venâncio, 2015). A Figura 1 ilustra o sistema colaborativo da metodologia BIM.

Figura 1: Fluxo de trabalho colaborativo do BIM.



A transformação de modelos bidimensionais em tridimensionais é a primeira fase do processo de modelação. A complexidade das edificações, a dimensão e as mais diversas exigências presentes na indústria da AEC têm vindo a alterar a tradicional forma da representação 2D, passando para uma representação de um modelo digital 3D como associação de elementos, orientada pela modelação de objetos. Esta transição permite ainda a introdução de informações nesses objetos, tais como: especialidade a que pertencem, características geométricas, físicas e mecânicas, nome do fabricante, preço, entre outras, dotando o modelo de “n” dimensões (Venâncio, 2015).

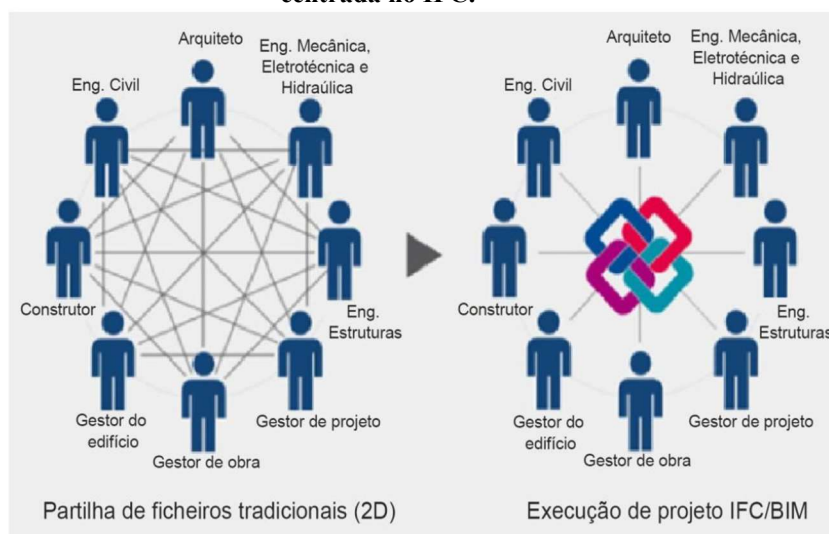
A designação BIM 3D refere-se ao modelo tridimensional paramétrico da edificação. O patamar 4D é atingido ao adicionar-se informações relacionadas ao fator tempo, como cronogramas de obras. Já o BIM 5D leva em considerações informações referentes aos custos, possibilitando a adaptação e alteração do projeto afim de se manter conforme o orçamento.

Existe ainda a possibilidade de acrescentar outros níveis de informação ao modelo. Contudo, a partir do nível 5D, a informação relacionada com cada nível ainda não é totalmente consensual (Venâncio, 2015).

Venâncio (2015) defende que o BIM 7D é o nível de projeto em que se tem as informações necessárias para a realização da gestão e manutenção da edificação, como referências dos fabricantes, fornecedores, garantias dos equipamentos, entre outras informações.

A organização e compatibilização de toda essa informação só é possível definindo ambientes de trabalho, onde cada especialidade funciona dentro de sua área, não sendo possível alterar dados e parâmetros que não lhe competem. A permissão de edição é atribuída por cada coordenador, sendo a decisão final transmitida para o modelo central. A Figura 2 ilustra a comparação entre os processos de construção baseados nos ficheiros tradicionais (2D) com o fluxo de trabalho da metodologia BIM.

Figura 2: Comparação entre os processos de construção tradicionais (2D) e a metodologia BIM centrada no IFC.



De entre as vantagens da aplicação dessa metodologia pode-se citar a possibilidade de uma visualização em três dimensões, que facilita o entendimento da obra como um todo; a atualização automática dos desenhos quando alguma alteração é realizada; a redução de conflitos e erros, uma vez que a informação é constantemente atualizada; a realização de orçamentos de forma rápida e com pouca margem de erro; e a possibilidade de simulação dos mais diferentes problemas e soluções.

Quando a obra se encontra concluída ou numa fase mais avançada, pode-se citar a capacidade de atualização do modelo mantendo-o mais próximo da realidade; a possibilidade de entrega de informações completas para o gerenciamento e futuras manutenções do edifício e ainda a otimização e planejamento durante a fase de construção, como algumas das principais vantagens do uso desta metodologia.

Em questões ambientais também se encontram algumas vantagens, uma vez que sendo um processo integrado e otimizado, a redução de erros de execução é considerável, diminuindo conseqüentemente a redução de resíduos de demolição. A possibilidade de realizar simulações energéticas, visando uma preservação do meio ambiente, também é um ponto positivo dessa forma de trabalho.

Em resumo, verifica-se um aumento da produtividade, um projeto com melhor qualidade e detalhes, um controle global da informação, uma construção mais segura com prazos e custos mais controlados, além de uma construção mais sustentável com uma maior facilidade de gestão e manutenção.

Porém, para que essas vantagens sejam acessíveis, é necessário investir tempo e dinheiro. Deve ser considerado um custo em investimentos, tanto em questões de softwares e hardwares como em formação especializada para a equipa de trabalho. É necessário também a mobilização de todos os envolvidos no ciclo de vida de um edifício para que a metodologia cumpra o que propõe.

2.1.3. Open BIM

A BuildingSMART, antiga IAI (International Alliance for Interoperability), é uma organização internacional que existe com o propósito de melhorar a troca de informações entre softwares da indústria AEC. Foi fundada em 1995 e a sua equipa era inicialmente composta por 12 empresas de destaque no setor, que se comprometeram com o desenvolvimento de um padrão de informação internacional onde nenhuma das empresas teria propriedade sobre o mesmo. As empresas comprometeram-se ainda em tornar os seus respetivos softwares compatíveis com o novo padrão criado. Em 2005, para tornar o nome mais fácil, a organização passou a ser chamada de BuildingSMART.

De acordo com a associação BuildingSMART Portugal (2023):

“O Building Information Modeling (BIM) é uma metodologia de partilha da informação e de colaboração entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção, que se apoia num modelo digital, acessível por software, o qual permite a manipulação virtual dessa mesma construção. Esse modelo de

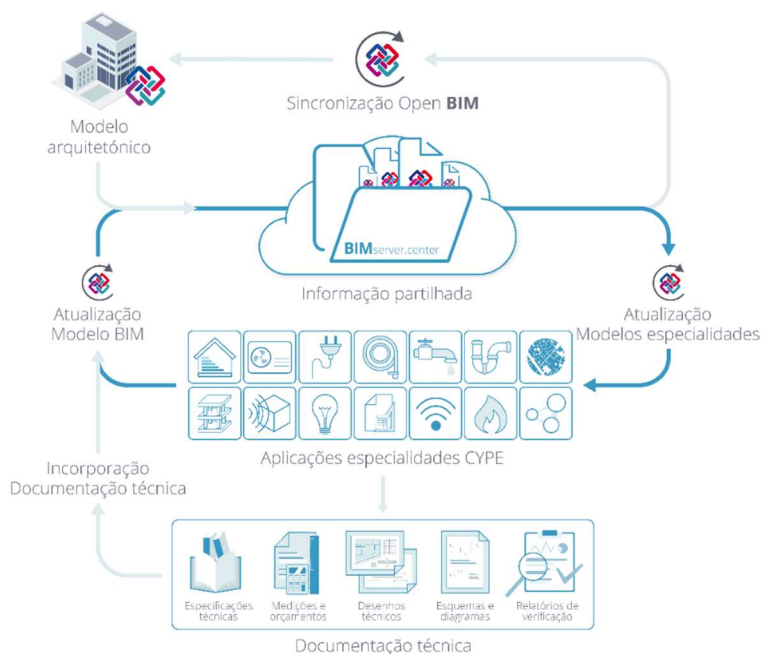
informação digital contém dados sobre as características geométricas de todos os elementos que compõem um edifício (por exemplo, vigas, pilares, janelas ou tomadas elétricas) mas também inclui as suas propriedades e atributos, sejam eles físicos, sejam os relacionados com o seu custo ou com o tempo necessário para a sua construção”.

Por outro lado, ainda de acordo com a associação BuildingSMART Portugal (2023):

“O OpenBIM é uma abordagem universal para o projeto colaborativo, construção e operação de edifícios/infraestruturas com base em fluxos de trabalho e formatos abertos”.

Sendo assim, pode-se entender o OpenBIM como a aplicação da metodologia BIM utilizando formatos abertos de informação, que permitem o acesso a dados e a interoperabilidade entre softwares, promovendo a integração entre equipas e processos. A Figura 3 sintetiza essa ideia. O conceito do OpenBIM pode ser comparado ao uso de diferentes linguagens numa conversa e o facto que, inevitavelmente, se perde informação na tradução da mesma, o que não aconteceria se a conversa fosse realizada numa linguagem universal, de acesso e conhecimento de todos.

Figura 3: Fluxo de trabalho OpenBIM



Cada equipa pode ainda continuar a trabalhar no seu software de preferência, desde que o mesmo seja capaz de converter a informação para um padrão aberto universal,

resultando num trabalho feito numa só linguagem. Os padrões BuildingSMART incluem cinco padrões básicos, cada qual com a sua função.

O primeiro que foi desenvolvido, lançado em 1996, foi designado como Industry Foundation Classes (IFC), e até hoje tem como objetivo a transferência de informações ou dados. O IFC é um esquema de dados comum para a descrição de dados do modelo de informação da construção, que visa estabelecer um método padrão de representação e armazenamento de dados, para que todos os tipos de software possam importar e exportar dados da construção neste formato, promovendo assim o compartilhamento de dados entre diferentes especialidades e softwares ao longo de todo o ciclo de vida (Jiang et al., 2019).

O BCF (Formato de Colaboração BIM) é o padrão que permite codificar informações para que seja possível estabelecer um fluxo de trabalho, promovendo a comunicação entre diferentes softwares. Foi desenvolvido especificamente para coordenar modelos de design que foram exportados no formato IFC para um aplicativo de coordenação e deteção de conflito (Beraldi, 2021).

O MVD, o IDM e o BSDD são padrões adicionais direcionados para os desenvolvedores de aplicativos AEC e não para os usuários finais (Beraldi, 2021). O MDV é um subconjunto de dados do modelo IFC, que é necessário para cada área específica do projeto. Por exemplo, um software de análise energética não precisa saber de todos os detalhes de todos os elementos IFC, apenas aqueles dados que são relevantes para esse fim. Dessa forma, ao invés de exportar o modelo IFC completo, exporta-se somente o MDV para análise energética, deixando o arquivo com um tamanho consideravelmente menor, facilitando todo o processo (Beraldi, 2021).

O IDM (Information Delivery Manual) é um método de identificar e especificar os processos, que visa garantir que os dados relevantes possam ser interpretados pelo software utilizado pelo profissional a quem interessa a informação. É o Manual de Entrega de Informações (IDM) (às vezes chamado de Especificação de Entrega de Informações (IDS)), que identifica a série de processos realizados durante o ciclo de vida de um ativo construído, juntamente com as informações necessárias para que esses processos sejam realizados (McPartland, 2017). Os padrões para o Manual de Entrega de Informações são normatizados pela ISO 29481-1:2016 Building Information Models - Information Delivery Manual - Parte 1: Metodologia e Formato e pela ISO 29481-2:2012 Building Information Models - Information Delivery Manual - Parte 2: Interaction Framework.

Por fim, o bsDD (buildingSMART Data Dictionary) funciona como uma biblioteca de referência para o IFC, mapeando a terminologia dos objetos em diferentes linguagens e sistemas de classificação, garantindo que um mesmo elemento, como uma porta por exemplo, tenha a mesma informação de definição e propriedades em todos os aplicativos BIM.

2.1.4. BIMserver.center

A metodologia BIM tem como objetivo principal a centralização da informação criada a partir das mais diversas bases de dados. Essa centralização de informação é feita a partir da concepção de um modelo colaborativo, onde toda informação fica armazenada ao longo do ciclo de vida do projeto, podendo ser acessada de forma fácil e rápida por todos aqueles que têm interesse no projeto.

A concepção desse modelo colaborativo pode ser feita utilizando a plataforma BIMserver.center. Através dela é possível gerir, compartilhar e atualizar projetos de AEC na nuvem, garantindo uma comunicação entre todas as partes envolvidas no projeto. A tecnologia Open BIM está subjacente a esta plataforma, sendo o fluxo de trabalho baseado na troca de ficheiros de formato aberto IFC4 (Assis et al., 2018).

Nessa plataforma, o coordenador cria o projeto, define a sua tipologia, as opções de visibilidade e os pedidos de colaboração do mesmo. Por fim, ele adiciona os membros da equipa, ou seja, os colaboradores do projeto que deverão fazer as respetivas contribuições conforme as suas especialidades. Cada contribuição feita ou atualizada é notificada ao coordenador que pode ou não a aceitar. A modelação das especialidades é feita então a partir da importação do modelo de arquitetura em formato IFC para essa plataforma.

“No fluxo de trabalho proposto, as atualizações são contínuas e unidirecionais, o que permite o desenvolvimento do modelo federado de forma progressiva. A informação sobre cada elemento está num único local e move-se numa única direção. Cada colaborador apresenta soluções para a sua especialidade, podendo visualizar as soluções adotadas pelos outros elementos da equipa, mas apenas poderá editar a parte do projeto que lhe foi atribuída. Desta forma, é garantida a distribuição de responsabilidades, bem como o desenvolvimento contínuo do modelo federado, enriquecendo-se este com toda a informação proporcionada por cada colaborador” (Assis et al., 2018).

2.2. Aplicação do BIM em Portugal

Em Portugal, a adoção da metodologia BIM tem partido sobretudo de empresas que reconhecem vantagens na adoção da metodologia e de donos de obra que pretendem impor uma forma de trabalhar que minimize erros e incompatibilidades de projeto, sendo visível uma mudança no panorama geral da indústria da construção.

A buildingSMART Internacional é um organismo mundial que impulsiona a transformação digital da indústria da construção. Identifica-se como uma associação neutra, inovadora, aberta, interoperável, colaborativa e horizontal. O capítulo português buildingSMART Portugal é composto por todos os agentes do sector da construção: promotores e investidores, empresas de construção, engenharia e arquitectura; desenvolvedores de software; centros de investigação; fabricantes de produtos e materiais; universidades e administrações públicas. A associação tem como visão liderar a transformação digital em Portugal, permitindo uma melhor colaboração e fluxos de trabalho digitais (BuildingSMART, 2023).

Além disso, o Congresso Português de ‘Building Information Modelling’ – PTBIM, que terá sua 5ª edição realizada no ano de 2024, tem sido um momento de reflexão e partilha de experiências e conhecimentos entre toda a comunidade, académica e profissional, que atua neste domínio. O congresso envolve ainda discussões relacionadas a tópicos como implementação e gestão; políticas e normalização; interoperabilidade e colaboração; ciclo de vida e economia celular; automação e robótica; entres outros (ptBIM, 2023).

Relativamente as questões normativas, a Comissão Técnica (CT) 197, coordenada pelo Organismo de Normalização Setorial do Instituto Superior Técnico (ONS/IST) tem como objetivo o desenvolvimento da normalização BIM. Dividida em 4 subcomissões, agrega diversos especialistas que trabalham de forma integrada afim de produzir sistemas de apoio ao BIM, especificações técnicas e normas (LECMA, 2016).

2.3. Modelação BIM de redes prediais

2.3.1. Softwares

O Revit foi desenvolvido pela Revit Technology Corporation, empresa fundada em 1997. Em 2002, a empresa foi comprada pela Autodesk que passou a ter o domínio sobre o programa. Ele foi criado para auxiliar os profissionais da área da AEC na elaboração de projetos, sendo possível realizar projetos estruturais, arquitetónicos e os

complementares. Os projetos de redes prediais enquadram-se na componente do sistema MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing).

Entre as vantagens do uso desse software estão o facto de ele permitir o desenvolvimento de diversas especialidades num só arquivo, a sua capacidade de geração do modelo 3D a partir do desenho em 2D, a atualização automática das vistas dos desenhos quando alguma mudança é feita, a possibilidade de detalhamento dos materiais de todos os componentes do edifício e a possibilidade de organização da interface conforme a necessidade do projetista.

De acordo com Kiviniemi et al. (2008), o software Revit Architecture aparece na lista dos softwares mais utilizados nos Estados Unidos, Dinamarca, Finlândia e Noruega, juntamente com o AutoCAD Architecture e o ArchiCAD, sendo os dois primeiros desenvolvidos pela empresa norte americana Autodesk e o último pela empresa húngara GRAPHISOFT. Todos eles contam com plugins que possibilitam o trabalho no BIMserver.center.

Para a realização do dimensionamento do sistema de redes de abastecimento e drenagem, o software tem os seus parâmetros baseados no International Plumbing Code (IPC). O IPC é uma regulamentação americana que engloba os regulamentos gerais de redes, os requisitos de instalações, os sistemas de aquecimento e distribuição de água, drenagem sanitária e pluvial, resíduos especiais, ventilação e gases medicinais baseando-se em princípios que atendam adequadamente aos requisitos de saúde pública, segurança e bem-estar, levando em consideração também os custos das instalações, materiais e mão de obra (Venâncio, 2015). Porém, por se tratar de um software americano, alguns de seus parâmetros não são compatíveis com os parâmetros estabelecidos pelas regulamentações portuguesas, como o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995).

Graça (2019) estuda a aplicação do Revit no dimensionamento das redes hidráulicas de acordo com o pressuposto da legislação portuguesa, e, segundo a autora “foram encontradas algumas dificuldades nos pressupostos de cálculo em comparação com o regulamento português, sendo o principal obstáculo a integração do coeficiente de simultaneidade no cálculo do caudal conforme definido na legislação portuguesa, concluindo-se não ser possível realizar o dimensionamento de um projeto de abastecimento de águas em conformidade com as disposições regulamentares portuguesas, recorrendo exclusivamente ao motor de cálculo do Revit”.

Alguns dos parâmetros de cálculo podem ser personalizados, no entanto, há critérios gerais que afetam todo o processo que não podem ser alterados e que

inviabilizam a aplicação direta do Revit no cálculo e dimensionamento de redes prediais de abastecimento de águas de acordo com o regulamento português (Venâncio, 2015).

O dimensionamento dos sistemas de abastecimento e drenagem utilizando o Revit pode ser feito ainda através das instalações de plug-ins (Lima, 2022). Esses plug-ins são extensões que aprimoram a capacidade do software, porém, como o seu desenvolvimento é feito por terceiros, é necessário um entendimento profundo acerca dos parâmetros de projeto considerados, assim como em relação ao desenvolvedor da extensão, para que não haja erros de cálculo.

Por outro lado, a CYPE é uma empresa com soluções para uma gama de profissionais da AEC. Eles contam com programas desenvolvidos para as áreas de: arquitetura; estruturas; simulação energética e acústica; água, saneamento e instalações de gás; proteção contra incêndio; sistemas HVAC; instalações elétricas; instalações de telecomunicações; gestão e documentação do projeto.

A empresa desenvolveu ainda o IFC Uploader, que é uma ferramenta que permite adicionar ficheiros IFC em projetos desenvolvidos na plataforma BIMserver.center, promovendo a interoperabilidade entre aplicações (CYPE Ingenieros, 2023b).

O CYPE é um exemplo de software que integra a modelação BIM e as ferramentas de cálculo e dimensionamento dos sistemas de abastecimento e drenagem. Além disso, o regulamento português está incluído nas opções de seleção para a definição dos parâmetros de cálculo para o projeto.

O conjunto de ferramentas CYPE para o desenvolvimento de projetos de abastecimento de água, saneamento e abastecimento de gás conta com seis diferentes programas: CYPEPLUMBING Sanitary Systems, CYPEPLUMPING Water Systems, CYPEPLUMPING Schematic diagrams, CYPEPLUMBING Solar Systems, CYPEGAS, CYPECAD MEP (CYPE Ingenieros, 2023a). O desenvolvimento do traçado e o dimensionamento do mesmo é realizado utilizando as duas primeiras aplicações.

O CYPEPLUMBING Sanitary Systems é a ferramenta que permite o desenho das instalações de drenagem de águas pluviais e residuais. Permite ainda a definição das opções de desenho e de cálculo, a seleção dos materiais e equipamentos e a definição das opções de dimensionamento e verificações que serão feitas. Pode ser feita também a importação de parâmetros definidos pela parte 2 e 3 da EN 12056: Sistemas de drenagem por gravidade no interior de edifícios. Em relação ao desenho da rede, fica ao critério do projetista a determinação da localização dos componentes, como o ponto de ligação com

a rede pública, a câmara de visita, o registo de limpeza, as tubagens de drenagem e outros (Freydel, 2022).

Com a rede desenhada, o programa realiza o cálculo dos respetivos diâmetros e, a partir daí, caso seja necessário, podem ser feitas as alterações que o projetista julgar necessárias.

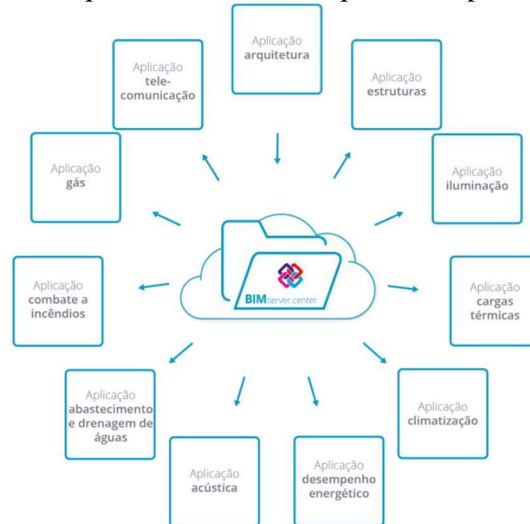
Analogamente ao CYPEPLUMBING Sanitary Systems funciona o CYPEPLUMBING Water Systems (Freydel, 2022), cujo objetivo é o desenho e dimensionamento da rede de abastecimento de água. Os parâmetros pré-definidos, nesse caso, são baseados na parte 3 da EN 806-3, podendo ser realizadas as mais diversas modificações que o projetista julgar necessárias.

Ambas as ferramentas estão integradas no fluxo de trabalho OpenBIM e através da plataforma BIM Server Center é feita a visualização da edificação com as tubagens e equipamentos devidamente posicionados.

2.3.2. Exemplos em Portugal

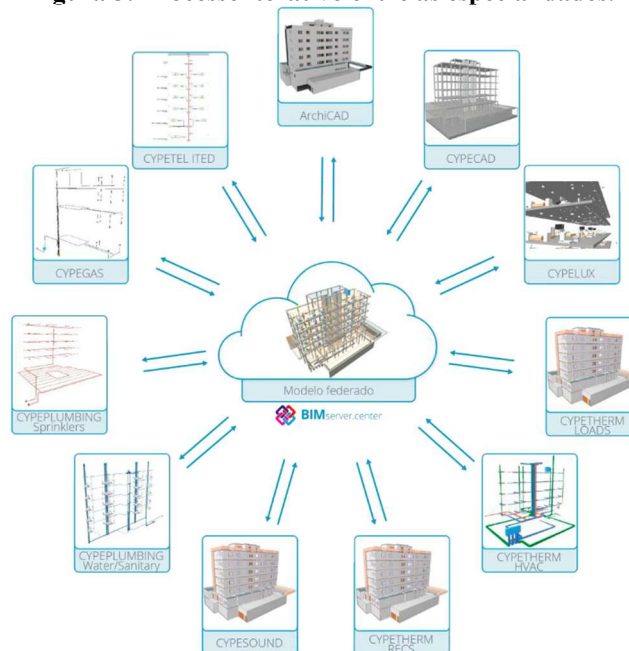
Assis et al. (2018) expõem a plataforma BIMserver.center e o fluxo de trabalho Open BIM criado entre a plataforma e as aplicações CYPE. Como estudo de caso, apresentam e testam essa forma de trabalho num projeto que tem início na importação do modelo arquitetónico, passa pela conceção dos modelos das especialidades, com o cálculo, dimensionamento e verificação de requisitos regulamentares, partilha de informação geométrica e não geométrica entre especialidades, até à obtenção do modelo federado. O modelo arquitetónico foi concebido pelo arquiteto através do software de arquitetura ArchiCAD®. Após a sua conclusão foi gerado o ficheiro IFC4 e o passo seguinte consistiu na partilha do modelo arquitetónico na plataforma BIMserver.center, que ficou disponível para ser importado pelas aplicações das especialidades de engenharia. A Figura 4 ilustra de forma esquemática a partilha do modelo arquitetónico com as especialidades.

Figura 4: Esquema da partilha do modelo arquitetónico para as especialidades.



Numa primeira fase, foi realizado um estudo prévio onde cada especialidade apresentou a solução que melhor se ajustava aos requisitos estabelecidos relativamente à conceção geral da obra. A proposta inicial foi então partilhada pelos vários modelos, e iniciou-se um processo iterativo, representado pela Figura 5, no qual cada projetista analisou as colisões e interferências com as demais especialidades, e, com as orientações do coordenador de projeto, as alterações necessárias foram realizadas.

Figura 5: Processo iterativo entre as especialidades.



Depois de resolvidas todas as interferências, cada especialidade foi capaz de estabelecer a seleção de dimensões finais de cada elemento, bem como sistemas e equipamentos do modelo, obtendo assim a versão final do modelo federado.

Por outro lado, Graça (2019) apresenta um exemplo prático disponível no Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas do LNEC (Pedroso, 2000). Além da execução do projeto de abastecimento de água, ela realiza também a modelação da arquitetura do edifício, e adota como material para as tubagens o aço galvanizado, tanto para água fria como para água quente, conforme definido no projeto.

Com este estudo de caso, pretende-se comparar o dimensionamento realizado pelo software Revit, que utiliza as configurações Fixture units e a Preset, com o dimensionamento calculado no exemplo descrito no manual. Pelo dimensionamento no software, obtêm-se valores diferentes dos do manual, uma vez que o cálculo da perda de carga é realizado por fórmulas diferentes, sendo que o manual utiliza a fórmula de Flamant e o modelo Revit utiliza a Equação de Colebrook & White. Além disso, o comprimento da tubagem difere do manual, já que foi realizada uma modelação do traçado de acordo com as condições reais de instalação.

Ela conclui afirmando que, apesar do nível de complexidade do processo de dimensionamento que o software Revit exige, a adoção desta metodologia permite conciliar a vertente de dimensionamento com a vertente de modelação, resultando na centralização da informação num único modelo, tornando as operações de coordenação, compatibilização e adaptação dos projetos mais simples e eficientes (Graça, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da empresa

A RIPORTICO Engenharia (Figura 6), empresa onde foi realizado o presente estágio, é uma empresa de engenharia global e consultoria especializada para o desenvolvimento de projetos de infraestruturas que atua no setor público e privado. A sede da empresa fica localizada em Cabanas de Viriato, uma freguesia do município de Carregal do Sal, situado no distrito de Viseu.

Figura 6: Logo da empresa.



A empresa tem como missão entregar soluções de engenharia, com base no rigor, na excelência técnica, na inovação e no uso da tecnologia, atuando nos seguintes setores:

- Energia: desenvolve projetos solares, microgeração, eficiência energética e off-grid e certificação energética;
- Impacto das alterações climáticas nas infraestruturas: a Riportico desenvolve para Governos, Institutos e Indústrias, estudos detalhados de avaliação de risco e vulnerabilidades;
- Arquitetura bioclimática e eficiência energética: a empresa procura inovar e desenvolver soluções de olhos postos no futuro, visando processos construtivos mais sustentáveis e mais adequados;
- Projetos técnicos de execução: a empresa apresenta um nível de especialização nas várias áreas de projeto, com referências em estradas, pontes, edifícios como hospitais, lares, reabilitação de edifícios antigos, infraestruturas de águas, saneamento, eletricidade, estudos de condicionamento acústico de auditórios, conceção de estações de tratamento de águas e resíduos, entre outros;

- Gestão de projeto: contempla a gestão completa de todo o processo relativo à construção de um empreendimento;
- Fiscalização de obras: promove o controle financeiro por meio de medições, pareceres técnicos e jurídicos, realizando relatórios e monitorando o planejamento de trabalhos e recursos;
- Due dilligence técnica: para avaliar o risco do investimento, a empresa desenvolve um trabalho de levantamento de requisitos, análise documental, verificação técnica e estimativa de custos;
- Quantity surveyors: tem como objetivo a gestão dos custos relacionados com a construção e com os projetos de engenharia;
- Estudos de impacto ambiental: a gestão ambiental numa obra é fundamental, e por isso a empresa assegura a implementação de rigorosas rotinas de inspeção, levantamento e tratamento de não conformidades, ações corretivas, documentação de evidências, e uma check-list de verificação atendendo às exigências e condicionantes de cada projeto;
- Geotectónica: aborda o conhecimento das propriedades de solos e rochas como uma forma de investimento, realizando atividades de prospeção geológico-geotécnica, ensaios de laboratório, relatórios e diagnósticos;
- Topografia: utilizando recursos como o GPS, Estação Total e Equipamentos Laser, a empresa desenvolve este serviço como apoio à indústria, construtoras ou entidades públicas;
- Controle de qualidade: a empresa conta com recursos humanos e laboratoriais que permitem o conhecimento das características, materiais e propriedades do subsolo, bem como realizar estudos de misturas betuminosas, betão e agregados;
- Segurança: as questões de Segurança e Saúde no Trabalho são de extraordinária importância para a empresa;
- Arqueologia e antropologia: visando a preservação de património histórico, a empresa elabora o plano de trabalhos de intervenção e o respetivo pedido de autorização (PATA) junto das entidades competentes (DGPC), descrevendo a realidade arqueológica

identificada, elaboração de relatório final técnico-científico e toda a tramitação processual com as entidades competentes;

- Reabilitação urbana: a empresa conta com uma gama de equipamentos que possibilita a realização de diagnósticos de forma precisa para a realização de projetos de reabilitação urbana;
- Museologia: desenvolvimento de projetos museológicos e criação de exposições de carácter educativo e cultural;
- Laboratórios: criação de layouts funcionais de acordo com as necessidades do cliente, juntando a preocupação com o design e com o melhor funcionamento e utilização;
- Expropriações: execução, condução e conclusão dos projetos de expropriações e servidão administrativa, servindo seus clientes ao longo de todo o processo;
- Avaliações prediais: presta Avaliações de Bens Imóveis e Móveis, estando em processo de certificação pela CMVM – Comissão do Mercado de Valores Mobiliários.

3.2. Descrição dos trabalhos

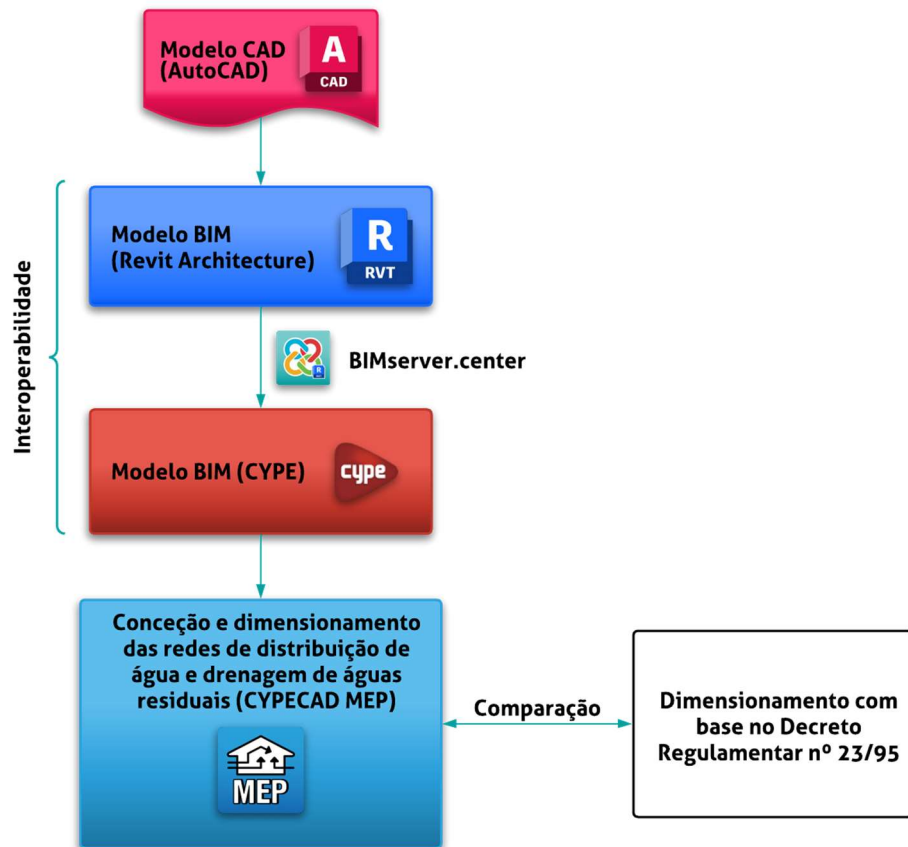
O tema do estágio foi proposto e discutido pela equipa de orientação e pelo responsável pelo acompanhamento dos trabalhos na empresa. A partir desse ponto, definiram-se os objetivos e a metodologia com que os trabalhos seriam realizados.

Os trabalhos foram divididos em três fases:

- Primeira fase: com base nas peças desenhadas do projeto arquitetónico original disponibilizadas em arquivo CAD, foi feita a modelação BIM do edifício em questão, utilizando o software Revit.
- Segunda fase: transferência do modelo do software Revit, utilizado para a modelação da arquitetura, para o software CYPE, utilizado para o dimensionamento das redes.
- Terceira fase: conceção e dimensionamento das redes de distribuição de água e drenagem de águas residuais, utilizando o software CYPE e seguindo as imposições do Decreto Regulamentar nº 23/95, e comparação dos resultados obtidos com as duas abordagens.

Após a fase inicial de modelação da arquitetura do edifício, avaliaram-se as possibilidades de transferência do modelo arquitetónico realizado no software Revit para o CYPE. Por fim, utilizando o programa CYPE, a rede hidráulica foi desenhada e calculada. A Figura 7 sintetiza a metodologia adotada neste trabalho.

Figura 7: Fluxograma da metodologia dos trabalhos.



4. RESULTADOS

4.1. Conceção do modelo arquitetónico tridimensional do edifício

A realização do projeto das redes hidráulicas utilizando a metodologia BIM só é possível a partir do modelo tridimensional arquitetónico do edifício. Para isso, com base no arquivo no formato DWG disponibilizado, e utilizando o software Revit, iniciou-se o desenvolvimento da modelação. As Figura 8, Figura 9 e Figura 10 ilustram o resultado da modelação.

Figura 8: Vista isométrica exterior da modelação do edifício – lado 1.

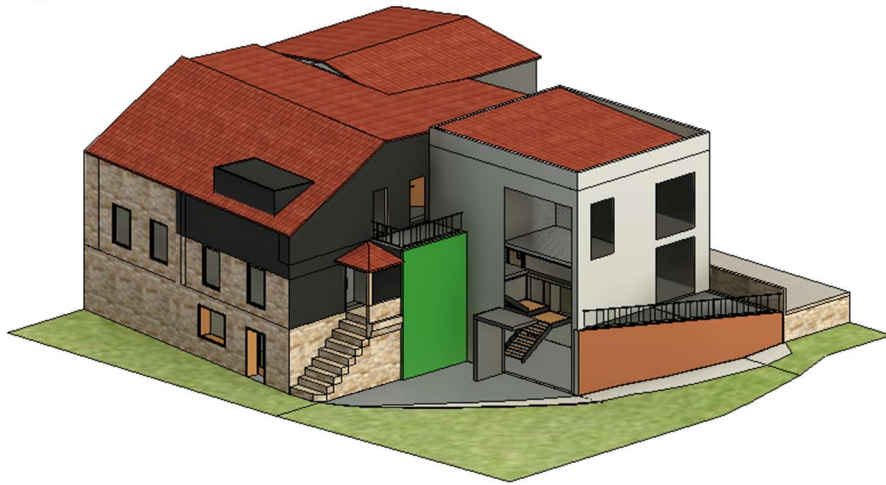


Figura 9: Vista isométrica exterior da modelação do edifício – lado 2.

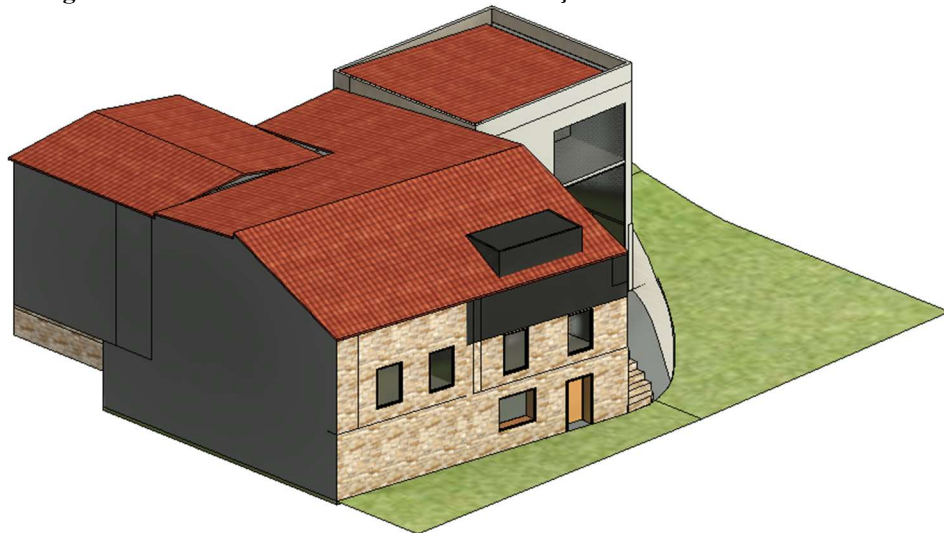
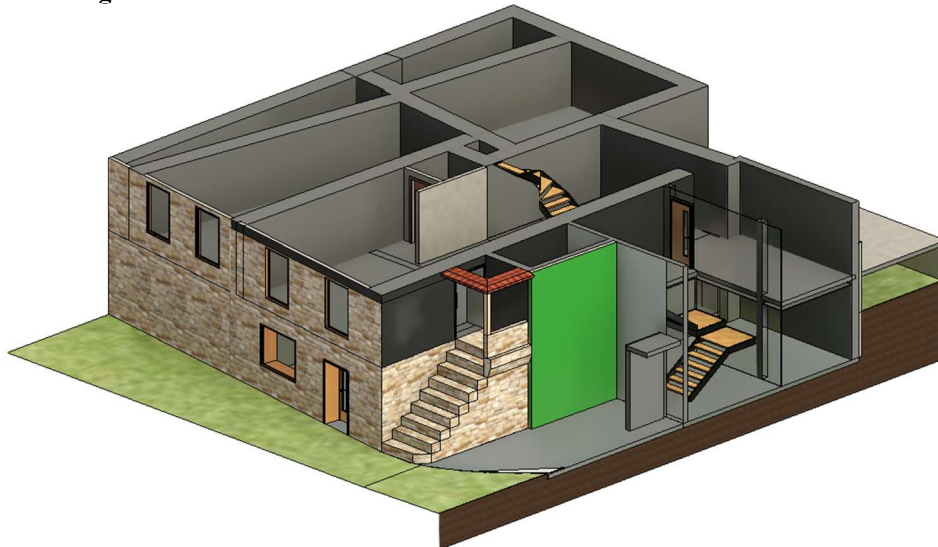


Figura 10: Vista isométrica com detalhes interiores do edifício.



Depois de finalizada essa etapa, iniciou-se o estudo sobre como funcionaria a interoperabilidade entre os softwares.

4.2. Estudo da interoperabilidade entre softwares

Após a modelação em ambiente Revit e para que fosse possível abrir o modelo BIM arquitetónico no CYPE, foi utilizada a ferramenta BIMserver.center para a transferência da informação.

Através do plug-in Colaboração Open BIM instalado no Revit e tendo uma conta de utilizador na plataforma BIMServerCenter, o arquivo arquitetónico foi inserido na plataforma. Na plataforma foi criada então a pasta que iria reunir os projetos das especialidades.

Pela Figura 11 pode-se observar como o CYPE integra o BIMserver.center na sua interface. Ao abrir o software para o dimensionamento das redes, pode-se abrir a pasta do BIMserver.center, seleccionar a pasta que foi criada anteriormente e carregar o modelo arquitetónico para dentro do programa (Figura 12). A partir deste momento é possível começar o desenho das redes. Os novos arquivos criados no CYPE devem ser então inseridos na plataforma BIMserver.center, na pasta anteriormente criada, funcionando como contribuições.

Figura 11: Aba de trabalho do BIMserver.center.

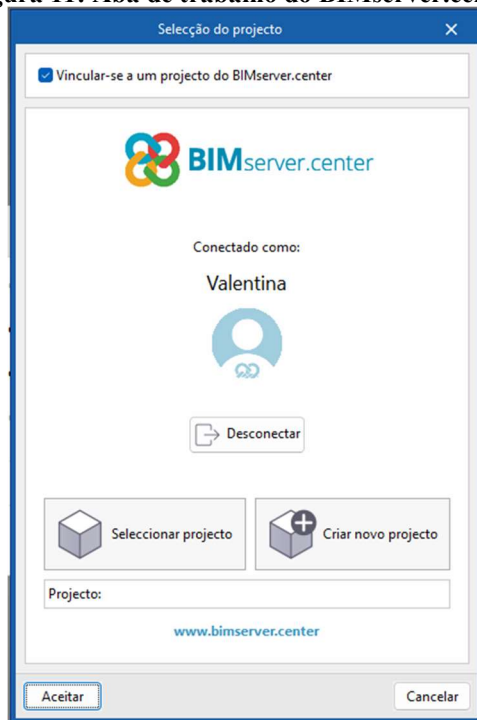
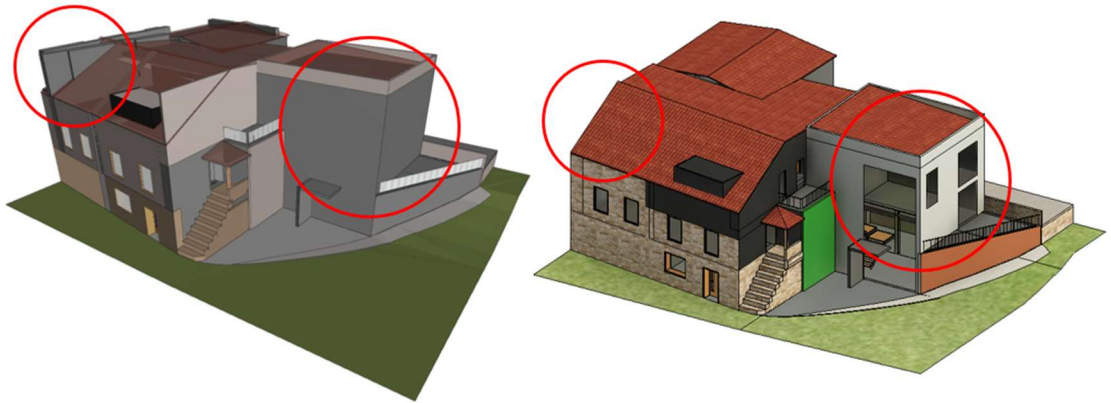


Figura 12: Modelo BIM gerado no CYPE.



Avaliando em detalhe este processo de interoperabilidade é possível notar alguns erros e falhas na transferência da informação entre programas. Através da Figura 13 pode-se observar algumas diferenças entre os modelos gerados pelo Revit e pelo CYPE. As paredes laterais, por exemplo, que tinham sua altura limitada pelo telhado, perderam a sua ligação quando o arquivo foi carregado no CYPE. Algumas aberturas nas paredes também acabaram não aparecendo.

Figura 13: Falhas na transferência entre programas.



4.3. Modelação da rede de distribuição de água

A modelação da rede de distribuição de água teve início com a colocação dos aparelhos sanitários conforme o projeto arquitetónico que foi disponibilizado. Foi realizado também um levantamento no local para conferir se havia algum ponto a ser adicionado ou retirado. Para realizar essa tarefa, o CYPE conta com a aplicação Open BIM Water Equipment, que é uma ferramenta que foi desenvolvida para introduzir aparelhos e acessórios que necessitem de uma ligação de abastecimento de água (lavatórios de casa de banho e cozinha, duches, banheiras, sanitas, bidés, máquinas de lavar loiça, máquinas de lavar...), no modelo BIM do projeto (CYPE Ingenieros, 2023c).

Após o posicionamento dos aparelhos sanitários, e, tendo como base o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto de 1995 - o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) - e o Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas (Pedroso, 2000) foi iniciado o estudo do dimensionamento da rede de distribuição de água.

Além do Decreto Regulamentar n.º 23/95, existem, na europa, as normas EN 12056 e a EN 806, que apresentam metodologias de conceção e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais em edifícios, respetivamente (Silva, 2015). No entanto, em Portugal, estas normas ainda não estão vertidas na regulamentação.

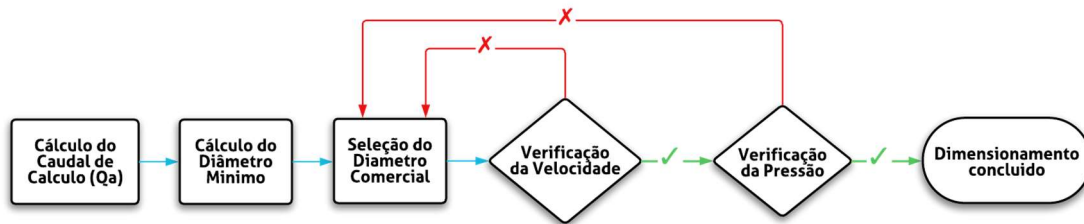
4.4. Critérios de cálculo para a rede de distribuição de água pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95

Após o traçado da rede hidráulica é necessário realizar o seu cálculo hidráulico de acordo com as normas em vigor. Para a realização dos cálculos conforme o Decreto Regulamentar n.º 23/95º, de acordo com o artigo 94º, devem ser levados em conta os seguintes parâmetros:

- Caudais de cálculo;
- Velocidades mínimas e máximas;
- Tipo do material;
- Pressões mínimas necessária para o abastecimento nos pontos mais desfavoráveis e no equipamento de produção de água quente sanitária.

A Figura 14 resume o processo de dimensionamento e as verificações a se fazer.

Figura 14: Fluxograma do processo de cálculo da rede de distribuição de água.



4.4.1. Material das tubulações

Para a escolha do material devem ser considerados fatores de ordem económica, disponibilidade de diâmetros comerciais, rugosidade do material, condições de aplicação, composição química da água distribuída e sua temperatura.

O tipo do material escolhido tem influência na perda de carga uma vez que quanto maior a rugosidade de um tubo, maior será o atrito e, conseqüente, a perda de carga.

Pedroso (2000) refere as seguintes alternativas em termos de materiais para tubagens: aço galvanizado, cobre, aço inox, aço, policloreto de vinilo (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno reticulado (PEX) e polipropileno (PP). Recentemente, surgiram no mercado outras alternativas, com vantagens de natureza técnica e económica, como o polietileno reticulado (PEX) e a tubagem multicamada.

O material utilizado para a rede de distribuição de água neste projeto foi o polietileno reticulado (PEX).

4.4.2. Nível de conforto

O nível de conforto estabelecido para um projeto deve ser definido em função das exigências de utilização previstas para o edifício em questão. A escolha do nível de conforto tem influência direta em aspetos como: caudais disponibilizados, pressões asseguradas, coeficiente de simultaneidade, isolamento térmico e ruídos.

O nível de conforto pode ser definido como baixo, médio e elevado. No projeto em estudo, definiu-se um nível de conforto médio.

4.4.3. Dispositivos de utilização, caudais instantâneos, caudal acumulado e caudais de cálculo

Os dispositivos de utilização correspondem ao conjunto de todos os equipamentos tais como torneiras, fluxómetros, autoclismos e outros, que têm como finalidade regular e controlar o fornecimento de água na rede. Os caudais instantâneos, Q_i , são os valores necessários e suficientes que deverão chegar aos diferentes dispositivos de utilização, levando em conta suas características particulares. Os valores de referência a utilizar são apresentados na Tabela 1, excluindo-se as situações em que os fabricantes do respetivo equipamento recomendem valores superior aos definidos na tabela (Pedroso, 2000).

Tabela 1: Caudais instantâneos

Dispositivos de utilização	Caudais mínimos (l/s)
Lavatório individual (LV)	0,1
Lavatório colectivo (por bica) (Lvi)	0,05
Bidé (Bd)	0,1
Banheira (Ba)	0,25
Chuveiro individual (Ch)	0,15
Pia de despejos com torneira de 015 mm (Pd)	0,15
Autoclismo de bacia de retrete (Br)	0,1
Urinol com torneira individual (Mi)	0,15
Pia lava-louça (LI)	0,2
Bebedouro (Bdo)	0,1
Máquina de lavar louça (Mr)	0,15
Máquina de lavar roupa (Ml)	0,2
Tanque de lavar roupa (Tq)	0,2
Bacia de retrete com fluxómetro (Brf)	1,5
Urinol com fluxómetro (Mif)	0,5
Boca de rega ou lavagem de ø15 mm (Re)	0,3
Boca de rega ou lavagem de ø20 mm (Re)	0,45
Máquinas industriais e outros aparelhos	Em conformidade com as instruções do fabricante

A partir dos caudais instantâneos é obtido o caudal acumulado, Q_a , que corresponde à soma dos caudais instantâneos dos dispositivos de utilização abastecidos por um determinado troço.

$$Q_a = \sum Q_i \quad (1)$$

O caudal de cálculo, Q_c , por sua vez, é calculado levando em conta a probabilidade de todos os dispositivos de utilização abastecidos por um determinado trecho estarem em funcionamento ao mesmo tempo. Uma vez que a probabilidade de ocorrência de tal fato é baixa, o caudal utilizado no dimensionamento da rede é obtido através da multiplicação do caudal acumulado por um coeficiente de simultaneidade, x , menor que a unidade.

$$Q_c = Q_a \cdot x \quad (2)$$

Existem três métodos distintos, por meio gráfico ou analítico, para estimar os coeficientes de simultaneidade:

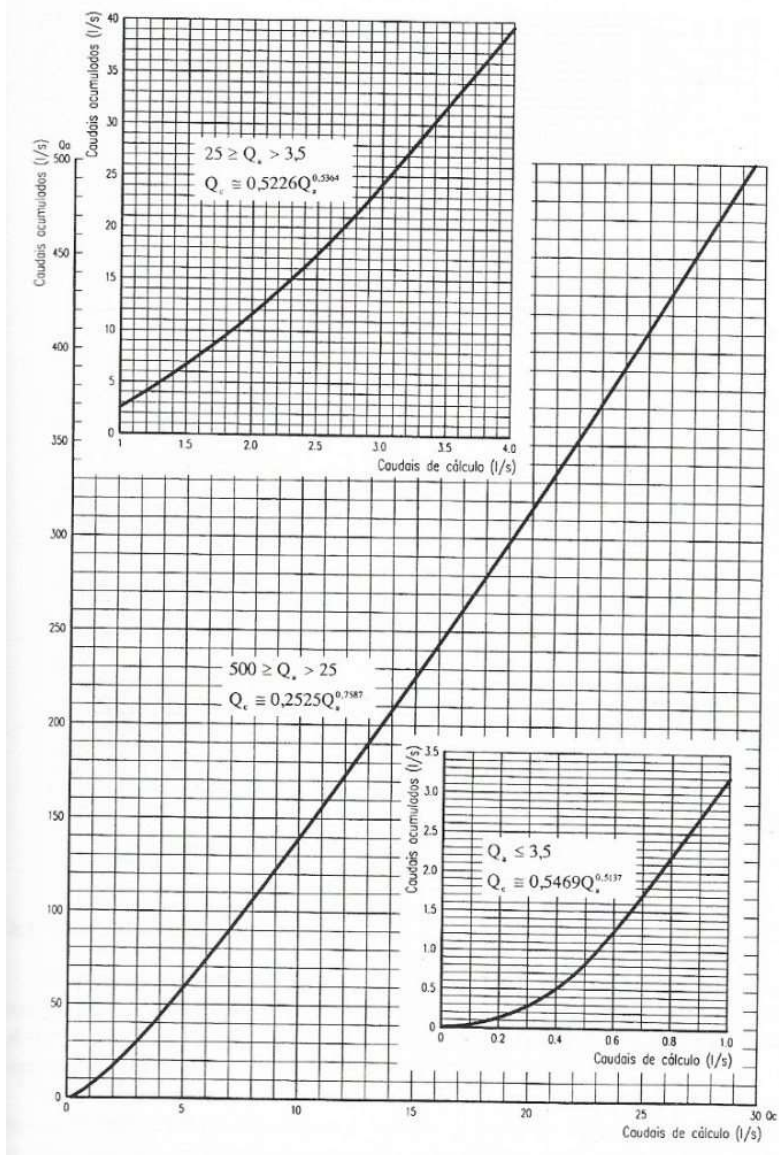
- Método do cálculo das probabilidades;
- Método do coeficiente de simultaneidade (x);
- Método preconizado pelo regulamento português.

No método do coeficiente de simultaneidade é levado em conta o número de dispositivos considerados em funcionamento (N) e o coeficiente de simultaneidade é calculado a partir da seguinte equação:

$$x = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \text{ se } N > 2 \quad (3)$$

Já o método preconizado pelo regulamento português, é um método gráfico, onde, de acordo com o nível de conforto estabelecido, é obtido o caudal de cálculo em função do caudal acumulado. Para cada nível de conforto, é disponibilizada uma curva e respectiva equação. A Figura 15 ilustra o gráfico para um nível de conforto médio, aquele foi utilizado no projeto.

Figura 15: Caudais de cálculo, em função dos caudais acumulados para um nível de conforto médio



Quando há na rede a presença de fluxómetros, dispositivos de alimentação com caudal controlado e de fecho automático, deve ser considerado no caudal de cálculo uma parcela relativa a esses equipamentos, proporcional ao número de unidades, n , conforme a

Tabela 2 e equação seguinte, em que Q_{if} corresponde ao caudal unitário de cada aparelho:

$$Q_c = Q_a \cdot x + n \cdot Q_{if} \quad (4)$$

Tabela 2: Número de fluxômetros em utilização simultânea.

Número de fluxômetros instalados	Número de fluxômetros em utilização simultânea (n)
3 a 10	2
11 a 20	3
21 a 50	4
> 50	5

No projeto em estudo, o rés do chão conta duas instalações sanitárias, uma com um lavatório individual (Lv), um autoclismo de bacia de retrete (Br) e um chuveiro individual (Ch) e outra com um lavatório individual (Lv), um autoclismo de bacia de retrete (Br) e um urinol com torneira individual (Mi). Já o primeiro piso conta com uma instalação sanitária, também com um lavatório individual (Lv) e um autoclismo de bacia de retrete (Br), e uma copa com uma pia lava-louça (LI) e um bebedouro (Bdo). O segundo e último piso conta com uma instalação sanitária, também com um lavatório individual (Lv) e um autoclismo de bacia de retrete (Br).

Após a identificação de todos os aparelhos sanitários de cada pavimento, foram nomeados os troços de tubagens. A Figura 16, a Figura 17 e a Figura 18 mostram o traçado em planta das redes de abastecimento (água fria e água quente) nos vários pisos do edifício e a Tabela 3 apresenta os caudais instantâneos, acumulados e de cálculo de cada troço da rede.

Figura 16: Estudo rede de abastecimento 2º pavimento.

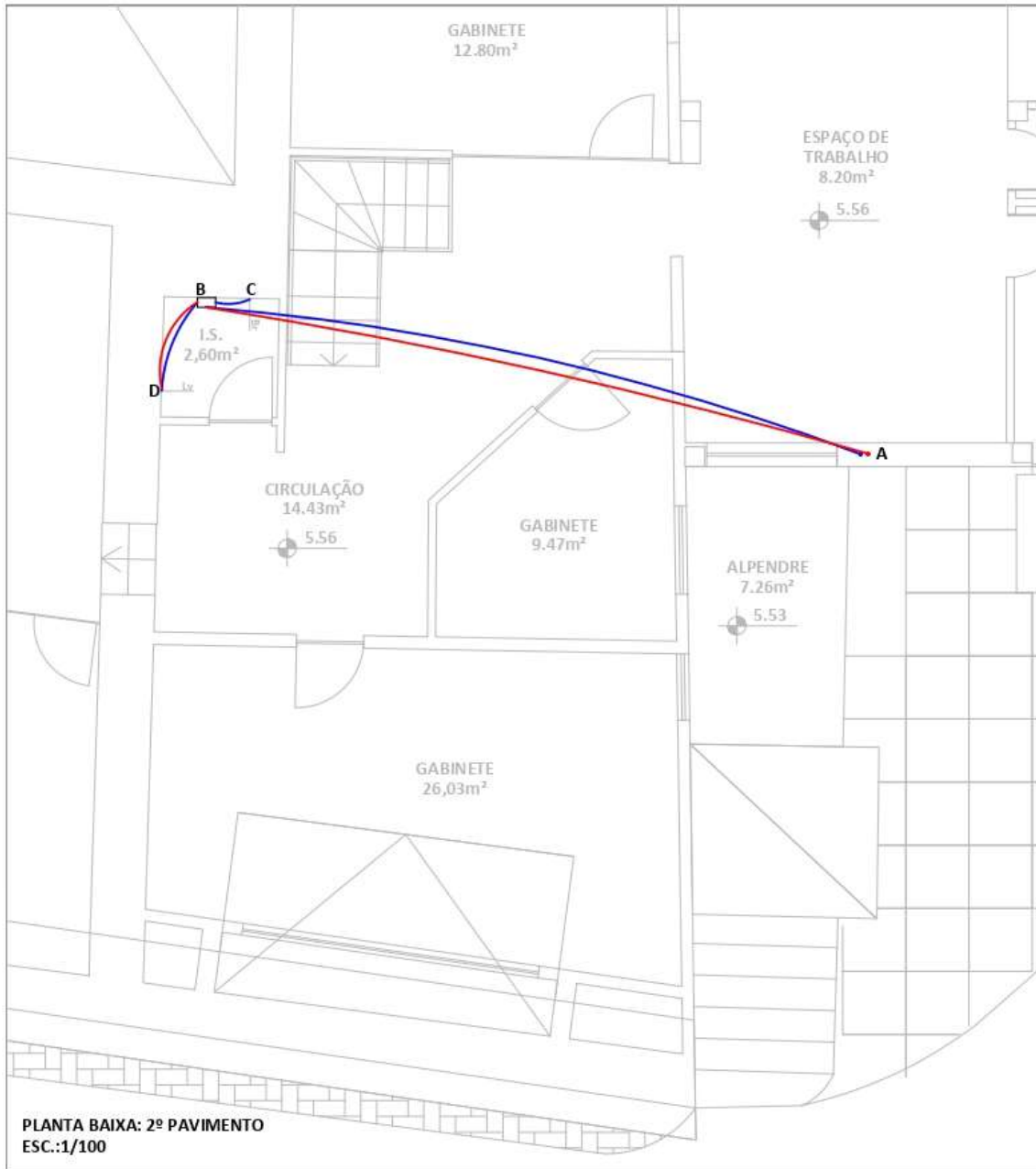


Figura 17: Estudo rede de abastecimento 1º pavimento.

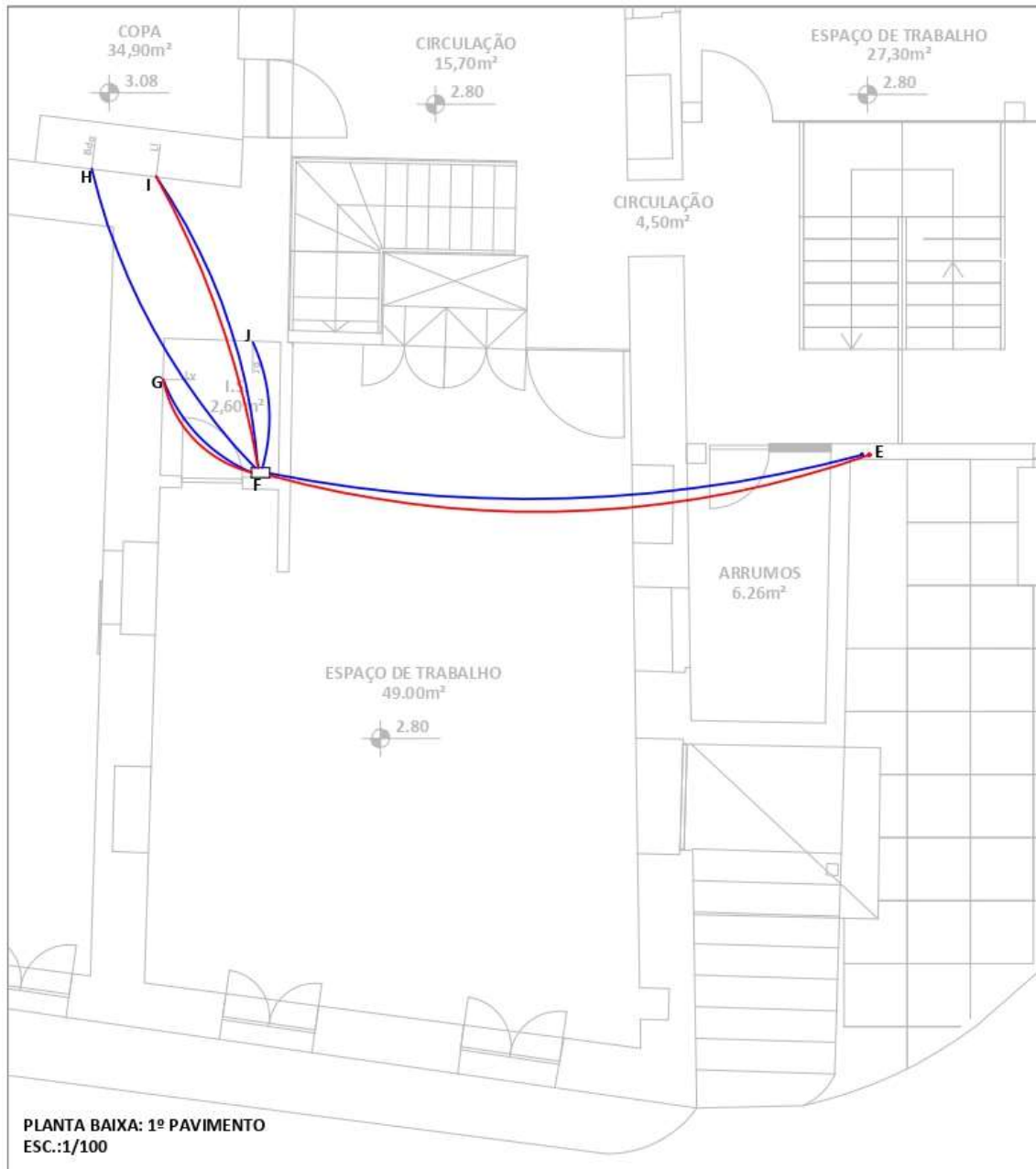


Figura 18: Estudo rede de abastecimento rés do chão.

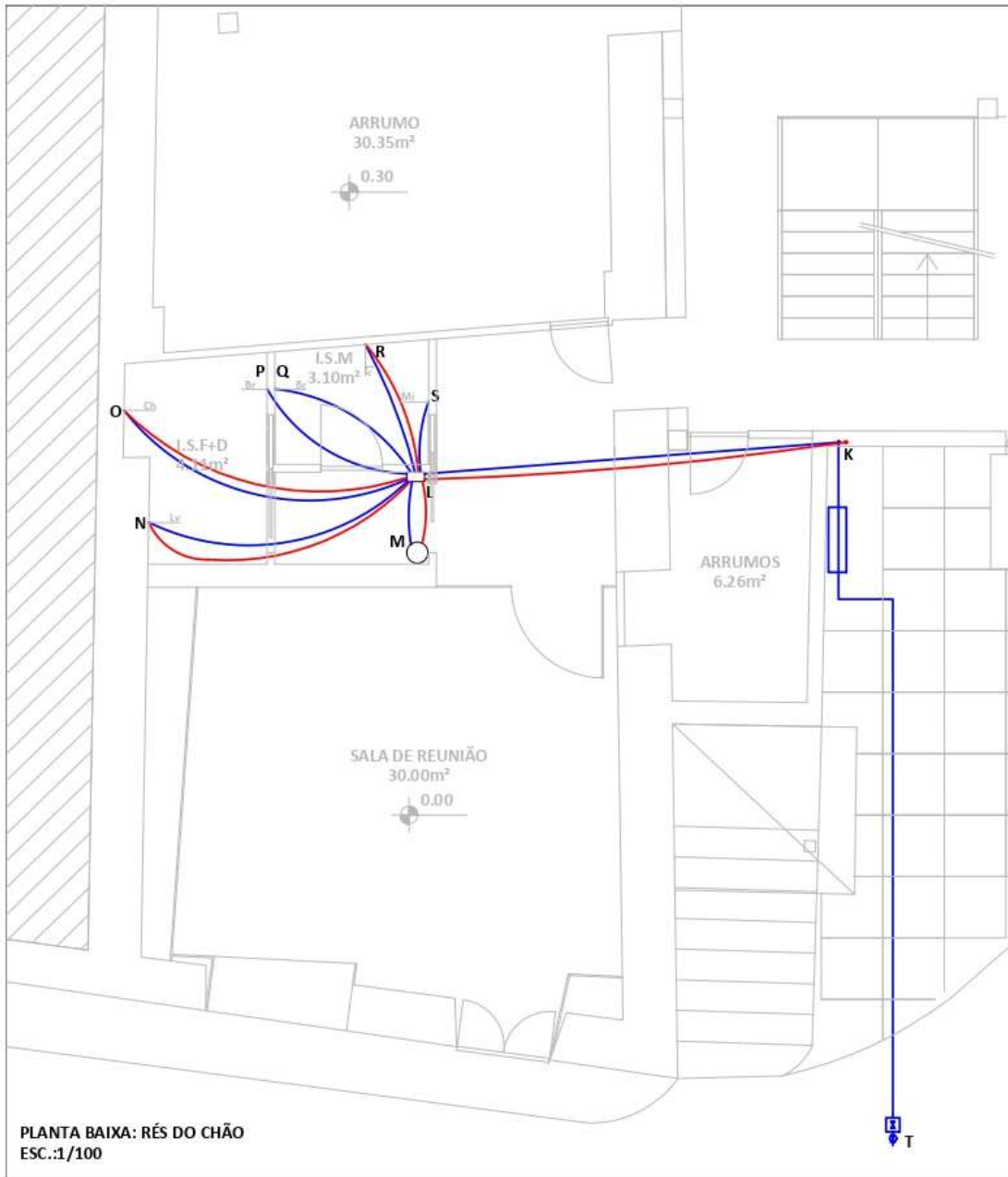


Tabela 3: Cálculo dos caudais acumulados e de cálculo.

Troço	Q_a	Q_c
	l/s	l/s
D-B	0,10	0,10
C-B	0,10	0,10
B-A	0,20	0,20
A-E	0,20	0,20
G-F	0,10	0,10
H-F	0,10	0,10
I-F	0,20	0,20
J-F	0,10	0,10
F-E	0,50	0,38
E-K	0,70	0,46
N-L	0,10	0,10
O-L	0,15	0,15
P-L	0,10	0,10
Q-L	0,10	0,10
R-L	0,10	0,10
S-L	0,15	0,15
M-L	1,40	0,65
L-K	1,40	0,65
K-T	1,40	0,65

4.4.4. Velocidade mínima e máxima admitidas

De acordo com a regulamentação portuguesa, por razões de conforto e durabilidade das tubagens, as velocidades de escoamento deverão oscilar entre 0,5 m/s e 2 m/s. Velocidades de escoamentos elevadas geram ruídos e vibrações nas canalizações, com consequências negativas na qualidade do sistema.

Pedroso (2000), sugere iniciar-se o cálculo com velocidades de 1,5 m/s, podendo sempre aumentar ou diminuir a velocidade consoante as necessidades de projeto. Porém, como se trata de uma rede no interior de um edifício, foi escolhido iniciar o cálculo com uma velocidade de referência de 1 m/s, compatível com uma qualidade elevada da instalação.

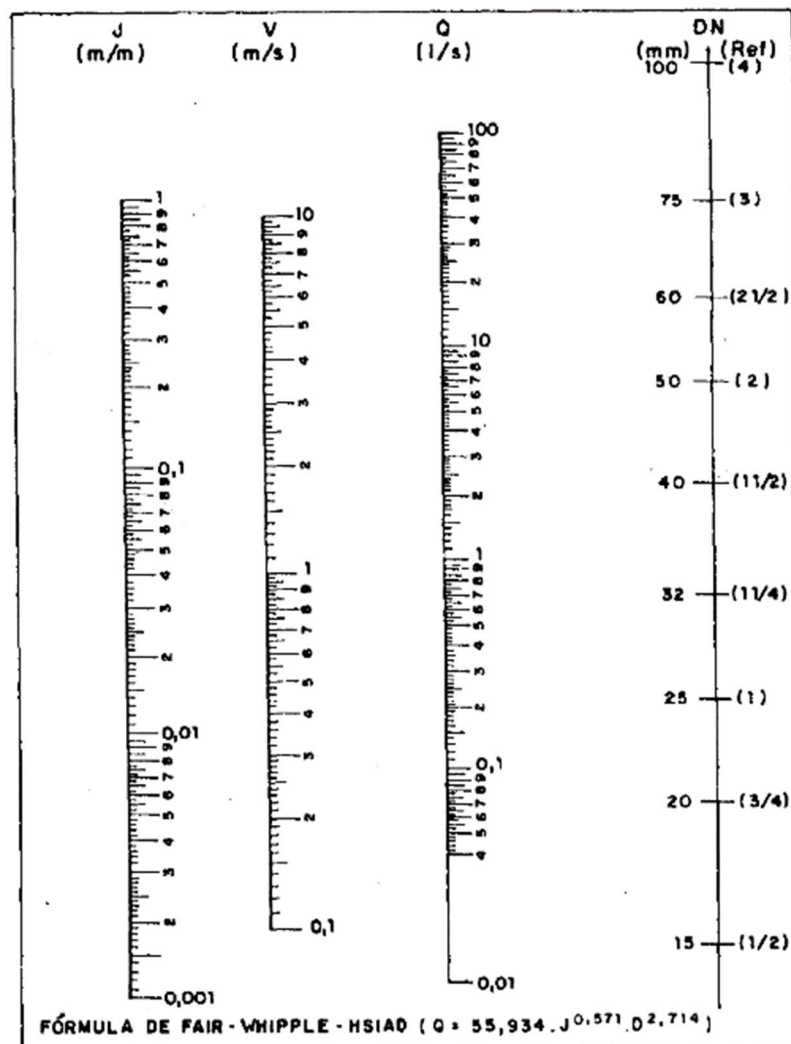
4.4.5. Diâmetro de cálculo, diâmetro comercial e diâmetro exterior

A determinação do diâmetro de cálculo leva em conta os valores do caudal de cálculo e da velocidade do escoamento pretendida, v . Pela Equação da Continuidade é possível obter o valor do diâmetro correspondente ao cenário pretendido, ou seja, o diâmetro de cálculo, D :

$$D = \sqrt{\frac{1,274 \cdot Q_c}{v}} \quad (5)$$

O diâmetro de cálculo pode também ser obtido também através de um ábaco que correlaciona os valores do caudal, do diâmetro, da perda de carga e da velocidade, ilustrado na Figura 19. Conhecido dois desses valores (por exemplo o caudal de cálculo e a velocidade), une-se através de uma linha reta os dois valores marcados sobre as escalas verticais correspondentes. Os outros dois elementos leem-se na intersecção da linha traçada com as escalas correspondentes.

Figura 19: Ábaco da correlação entre os valores do caudal, do diâmetro, da perda de carga e da velocidade.



Depois de obtido o diâmetro de cálculo, esse valor tem de ser ajustado em função dos diâmetros comerciais disponíveis para o material selecionado.

Após a seleção do diâmetro comercial pretendido, com o diâmetro interior da tubagem, calcula-se o valor da velocidade real de escoamento, U , em cada troço, fazendo as devidas verificações.

$$U = \frac{4 \cdot Q_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_{int}^2} \quad (6)$$

Os valores obtidos neste projeto estão apresentados na Tabela 4. Refira-se que se optou sempre por um diâmetro superior ao de cálculo, resultando em velocidades reais de escoamento sempre inferiores a 1 m/s.

Tabela 4: Cálculo dos diâmetros e verificação da velocidade.

Troço	\varnothing_c	D_n	\varnothing_i	v
	mm	mm	mm	m/s
D-B	14,61	20	16,2	0,81
C-B	14,61	20	16,2	0,81
B-A	17,46	25	20,4	0,73
A-E	17,46	25	20,4	0,73
G-F	14,61	20	16,2	0,81
H-F	14,61	20	16,2	0,81
I-F	17,46	25	20,4	0,73
J-F	14,61	20	16,2	0,81
F-E	22,09	32	26,2	0,71
E-K	24,09	32	26,2	0,84
N-L	14,61	20	16,2	0,81
O-L	16,22	25	20,4	0,63
P-L	14,61	20	16,2	0,81
Q-L	14,61	20	16,2	0,81
R-L	14,61	20	16,2	0,81
S-L	16,22	25	20,4	0,63
M-L	28,78	40	32,6	0,78
L-K	28,78	40	32,6	0,78
K-T	28,78	40	32,6	0,78

4.4.6. Perdas de carga contínua e localizada

Devido ao atrito do fluido com as paredes internas da tubagem, ocorre uma diminuição na pressão ao longo de todo o interior do tubo. Essa diminuição na pressão é designada por perda de carga contínua. As perdas de cargas contínuas são influenciadas pelas dimensões e propriedades dos materiais e podem ser calculadas por meio de

expressões empíricas como as de Flamant e de Darcy e Weisbach. Neste trabalho optou-se pela primeira:

$$J = 4 \cdot b \cdot v^{7/4} \cdot D^{-5/4} \quad (7)$$

Sendo:

J : perda de carga unitária (m/m)

b : fator caracterizador da rugosidade do material

v : velocidade de escoamento (m/s)

D : diâmetro da tubagem (m)

O fator caracterizador da rugosidade do material b para materiais plasticos pode ser adotado como 0,000134.

Assim, o valor total da perda de carga contínua num determinado trecho, $J_{contínua}$, é obtida multiplicando a perda de carga unitária, J , pelo comprimento da tubulação, L .

$$J_{contínua} = J_{unitária} \cdot L \quad (8)$$

Relativamente às perdas de carga localizadas, essas devem ser consideradas quando há incidência de singularidades muito significativas face a dimensão da rede, como é o caso, por exemplo, de sistemas de aquecimento de água.

Existem ainda outras perdas de carga localizadas menos relevantes, como por exemplo mudanças de direção da tubagem, cujo cálculo pode ser feito de forma simplificada, com base no Método dos Comprimentos Equivalentes. Na prática a forma mais habitual de contabilizar este efeito é assumir o valor destas perdas de carga localizadas como uma percentagem das perdas de carga contínuas. Por norma, a percentagem de perda de carga contínua a ser considerada, para o cálculo das perdas localizadas, ronda os 20% (Pedroso, 2000). Assim, a perda de carga contínua total, J_{total} , é dada por:

$$J_{total} = 1,2 \cdot J_{contínua} \quad (9)$$

Sendo:

$J_{localizada}$: perda de carga localizada (m/m)

$J_{contínua}$: perda de carga contínua (m/m)

Os valores obtidos neste projeto para a perda de carga total, ΔH_t , estão especificados na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo das perdas de cargas.

Troço	J	J_{loc}	L	ΔH_t
	mca/m	mca	m	mca
D-B	0,111	0,000	1,23	0,16
C-B	0,111	0,000	0,44	0,06
B-A	0,069	0,000	8,52	0,71
A-E	0,069	0,000	2,76	0,23
G-F	0,111	0,000	1,67	0,22
H-F	0,111	0,000	4,37	0,58
I-F	0,069	0,000	3,95	0,33
J-F	0,111	0,000	1,62	0,22
F-E	0,048	0,000	7,57	0,44
E-K	0,065	0,000	2,80	0,22
N-L	0,111	0,000	3,61	0,48
O-L	0,053	0,000	4,08	0,26
P-L	0,111	0,000	2,21	0,29
Q-L	0,111	0,000	2,13	0,28
R-L	0,111	0,000	1,78	0,24
S-L	0,053	0,000	0,93	0,06
M-L	0,043	0,000	0,82	0,04
L-K	0,043	0,000	5,39	0,28
K-T	0,043	0,000	9,45	0,49

4.4.7. Pressão na rede

A pressão num qualquer ponto da rede vai depender do seu desnível geométrico e das perdas de carga total ao longo da tubulação. Adicionalmente, em projeto, devem ser garantidos os valores de pressão mínima e máxima nos dispositivos de utilização, sendo que a verificação deve ser feita na posição mais desfavorável da rede.

Relativamente aos limites regulamentares em vigor, de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995): “as pressões de serviço nos dispositivos de utilização devem situar-se entre 50 kPa e 600 kPa, sendo recomendável, por razões de conforto e durabilidade dos materiais, que se mantenham entre 150 kPa e 300 kPa.”

A partir do Teorema de Bernoulli, pode-se determinar a pressão num ponto x da rede através da seguinte expressão:

$$P_x = P_d - Z_n - \Delta H_T \quad (10)$$

Sendo:

P_x : pressão disponível no ponto considerado (m.c.a)

P_d : pressão disponível na rede pública de distribuição, à entrada do edifício (m.c.a)

Z_n : diferença de cota entre o ponto x e a rede pública de distribuição (m)

ΔH_T : perdas de carga totais (m.c.a)

Em projeto, desconhecendo-se o valor da pressão disponível na rede, impõe-se um valor de pressão mínima para o funcionamento dos dispositivos e, a partir daí, estima-se o valor da pressão à entrada da rede. Este procedimento foi adotado neste projeto, tendo-se imposto uma pressão mínima de funcionamento dos dispositivos de 100 kPa ou 10 mca. A Tabela 6 ilustra os cálculos realizados para a obtenção do valor da pressão necessária disponível na rede pública.

Tabela 6: Cálculo da pressão necessária na rede pública.

Troço	Z	P_{jus}	P_{mon}
	mca	mca	mca
D-B	0,00	10,00	10,07
C-B	0,00	10,04	10,07
B-A	0,00	10,07	10,58
A-E	2,76	10,58	13,51
G-F	0,00	12,98	13,07
H-F	0,00	12,84	13,07
I-F	0,00	12,83	13,07
J-F	0,00	12,99	13,07
F-E	0,00	13,07	13,51
E-K	1,80	13,51	11,49
N-L	0,00	21,50	21,70
O-L	0,00	21,55	21,70
P-L	0,00	21,58	21,70
Q-L	0,00	21,58	21,70
R-L	0,00	21,60	21,70
S-L	0,00	21,66	21,70
M-L	0,00	21,65	21,70
L-K	0,00	21,70	21,97
K-T	1,20	21,97	23,66

Nesse caso, como o edifício conta também com uma rede de água quente, o sistema de aquecimento vai determinar a pressão necessária disponível na rede pública, devido ao impacto da perda de carga localizada resultante da presença do equipamento de aquecimento de água. Analogamente ao dimensionamento do sistema de abastecimento de água fria, na Tabela 7, na Tabela 8, na Tabela 9 e na Tabela 10 apresentam-se os valores obtidos no cálculo da rede de abastecimento de água quente.

Tabela 7: Cálculo dos caudais acumulados e de cálculo.

Troço	Q_a	Q_c
	l/s	l/s
D-B	0,10	0,10
B-A	0,10	0,10
A-E	0,10	0,10
F-E	0,30	0,29
G-F	0,10	0,10
I-F	0,20	0,20
E-K	0,40	0,34
N-L	0,10	0,10
O-L	0,15	0,15
R-L	0,10	0,10
K-L	0,40	0,34
L-M	0,75	0,47

Tabela 8: Cálculo dos diâmetros e verificação da velocidade.

Troço	Ø_c	D_n	Ø_i	v
	mm	mm	mm	m/s
D-B	14,61	20	16,2	0,81
B-A	14,61	20	16,2	0,81
A-E	14,61	20	16,2	0,81
F-E	19,37	25	20,4	0,90
G-F	14,61	20	16,2	0,81
I-F	17,46	20	16,2	1,16
E-K	20,86	32	26,2	0,63
N-L	14,61	20	16,2	0,81
O-L	16,22	20	16,2	1,00
R-L	14,61	20	16,2	0,81
K-L	20,86	32	26,2	0,63
L-M	24,52	40	32,6	0,57

Tabela 9: Cálculo das perdas de cargas.

Troço	J	J_{loc}	L	ΔHt
	mca/m	mca	m	mca
D-B	0,111	0,000	1,23	0,16
B-A	0,111	0,000	8,60	1,14
A-E	0,111	0,000	2,76	0,37
F-E	0,100	0,000	7,73	0,92
G-F	0,111	0,000	1,71	0,23
I-F	0,207	0,000	3,93	0,97
E-K	0,039	0,000	2,80	0,13
N-L	0,111	0,000	3,80	0,51
O-L	0,160	0,000	3,97	0,76
R-L	0,111	0,000	1,82	0,24
K-L	0,039	0,000	5,49	0,26
L-M	0,024	5,000	0,82	5,02

Tabela 10: Cálculo da pressão necessária na rede pública.

Troço	Z	P_{jus}	P_{mon}
	mca	mca	mca
D-B	0,00	10,00	10,16
B-A	0,00	10,16	11,31
A-E	2,76	11,31	14,43
F-E	0,00	13,51	14,43
G-F	0,00	13,28	13,51
I-F	0,00	12,54	13,51
E-K	2,80	14,43	17,37
N-L	0,00	17,12	17,62
O-L	0,00	16,86	17,62
R-L	0,00	17,38	17,62
K-L	0,00	17,37	17,62
L-M	0,00	17,62	22,65

4.5. Critérios de cálculo para a rede de distribuição de água pelo CYPE

O programa CYPE disponibiliza uma base de dados com os parâmetros estabelecidos por várias normas e regulamentos, sendo possível que o projetista selecione a que melhor se encaixa na situação. O projetista pode ainda fazer modificações nos critérios de dimensionamento, caso considere adequado. A Figura 20 e a Figura 21 ilustram como o programa possibilita a configuração e seleção dos parâmetros para o projeto.

Figura 20: Interface do CYPE para as opções de desenhos e de cálculo.

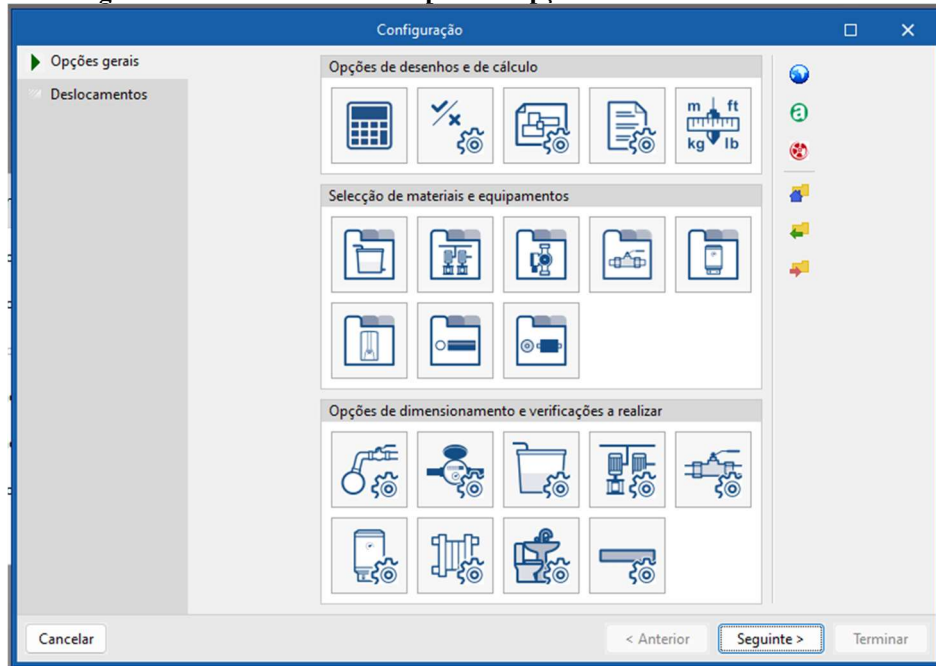
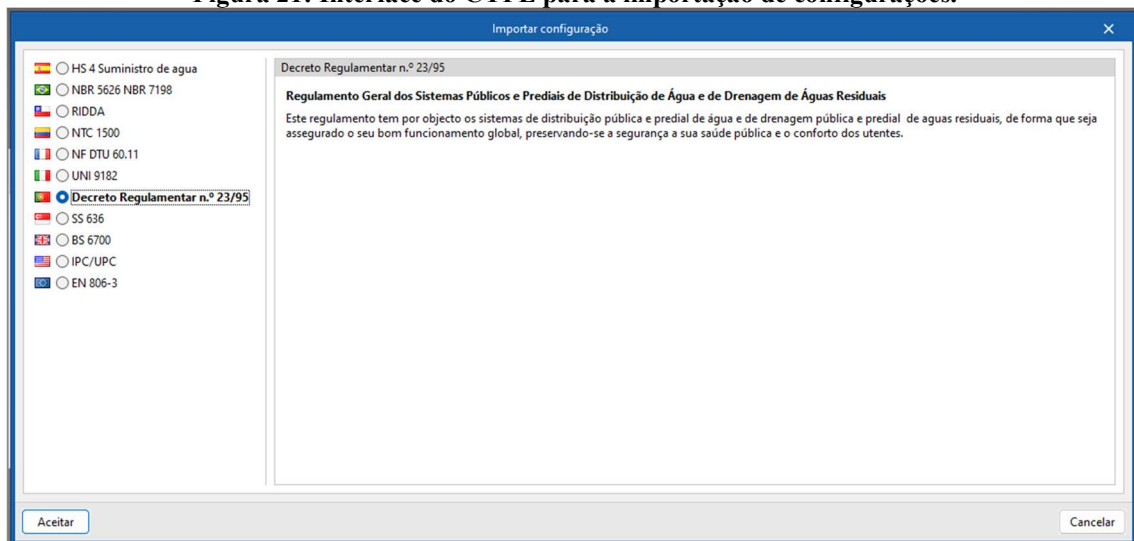


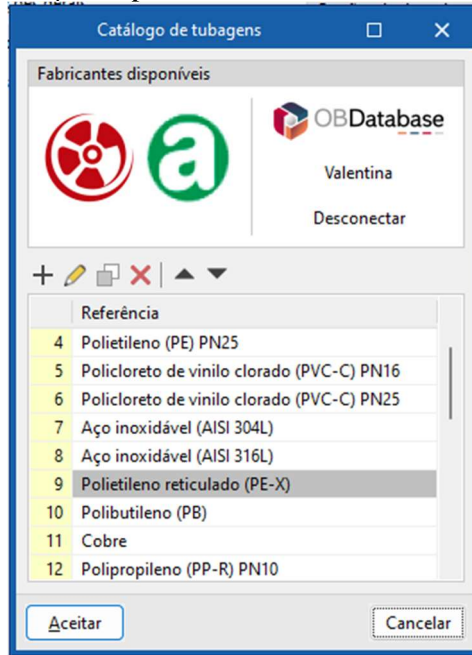
Figura 21: Interface do CYPE para a importação de configurações.



4.5.1. Material das tubulações

O programa disponibiliza uma plataforma, a OB Database, onde os fabricantes colocam à disposição as informações técnicas necessárias para que os projetistas possam empregar em seus projetos os seus equipamentos e materiais, considerando-se assim as dimensões reais e obtendo resultados mais precisos e adaptando os seus projetos às características de cada instalação. A Figura 22 mostra como a plataforma OB Database é disponibilizada no CYPE.

Figura 22: Inserção da plataforma OB Database no CYPE.



4.5.2. Nível de conforto e caudal de cálculo

O projetista consegue definir o parâmetro de simultaneidade conforme julgar adequado. Além disso, o nível de conforto pode ser ajustado para que então, a equação do caudal de cálculo possa ser definida. Esses ajustes podem ser feitos nas janelas ilustradas pela Figura 23, pela Figura 24 e pela Figura 25.

Figura 23: Escolha da equação para nível de conforto no CYPE.

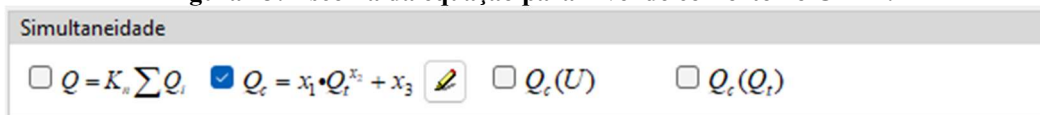


Figura 24: Ajuste do nível de conforto no CYPE.

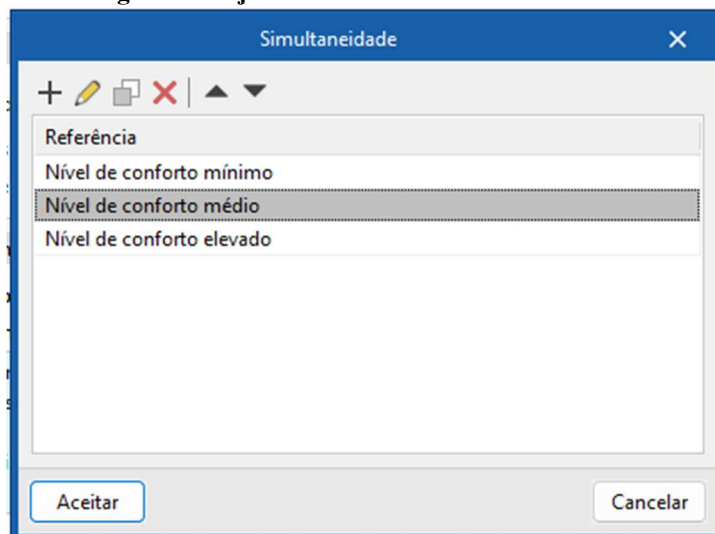
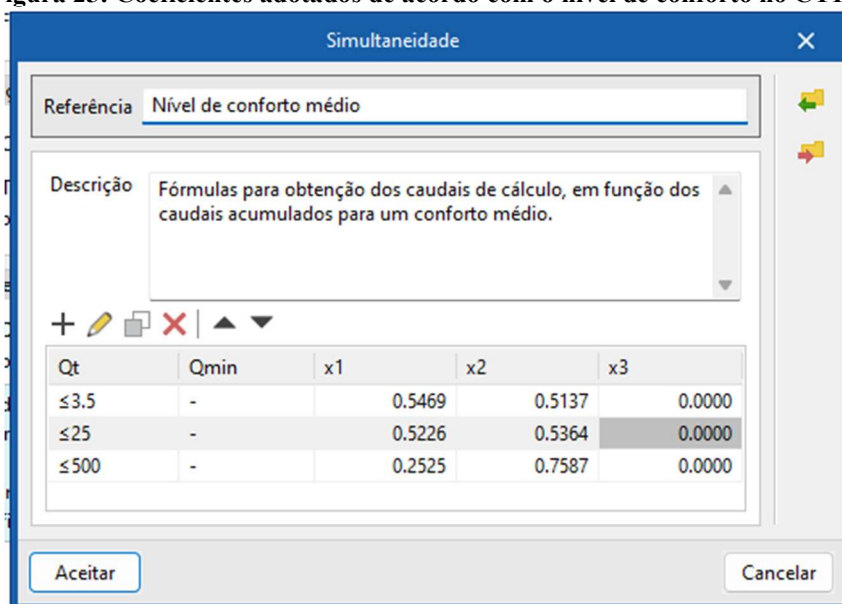


Figura 25: Coeficientes adotados de acordo com o nível de conforto no CYPE.



4.5.3. Dispositivos de utilização e caudais instantâneos

O software tem na sua biblioteca os dispositivos de utilização cada qual com os seus dados necessários para o dimensionamento e verificação (Figura 26 e Figura 27). Os caudais mínimos seguem de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995), sendo que o dimensionamento obedece ainda aos requisitos de diâmetro mínimo, pressão mínima e máxima. Esses valores podem ser alterados pelo utilizador, caso haja necessidade (Figura 28).

Figura 26: Consumos inseridos na biblioteca do CYPE.



Figura 27: Dados de dimensionamento e verificação pré-estabelecidos pelo CYPE.

	Referência	Referência no desenho	Descrição	Em utilização
1	<input checked="" type="checkbox"/> Lavatório individual	Lv	Lavatório individual	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/> Lavatório coletivo (por bica)	Lvi	Lavatório coletivo (por bica)	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/> Bidê	Bd	Bidê	<input type="checkbox"/>
4	<input checked="" type="checkbox"/> Banheira	Ba	Banheira	<input type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/> Chuveiro individual	Ch	Chuveiro individual	<input type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/> Pia de despejo	Pd	Pia de despejo com torneira de 15 mm	<input type="checkbox"/>
7	<input checked="" type="checkbox"/> Autoclismo de bacia de retrete	Br	Autoclismo de bacia de retrete	<input type="checkbox"/>
8	<input checked="" type="checkbox"/> Mictório com torneira individual	Mi	Mictório com torneira individual	<input type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/> Pia lava-louça	LI	Pia lava-louça	<input type="checkbox"/>
10	<input checked="" type="checkbox"/> Bebedouro	Bbo	Bebedouro	<input type="checkbox"/>
11	<input checked="" type="checkbox"/> Máquina de lavar louça	MI	Máquina de lavar louça	<input type="checkbox"/>
12	<input checked="" type="checkbox"/> Máquina de lavar roupa	Mr	Máquina de lavar roupa	<input type="checkbox"/>
13	<input checked="" type="checkbox"/> Tanque de lavar roupa	Tq	Tanque de lavar roupa	<input type="checkbox"/>
14	<input checked="" type="checkbox"/> Bacia de retrete com fluxómetro	Brf	Bacia de retrete com fluxómetro	<input type="checkbox"/>
15	<input checked="" type="checkbox"/> Mictório com fluxómetro	Mif	Mictório com fluxómetro	<input type="checkbox"/>
16	<input checked="" type="checkbox"/> Boca de rega ou lavagem de 15 mm	Re	Boca de rega ou lavagem de 15 mm	<input type="checkbox"/>
17	<input checked="" type="checkbox"/> Boca de rega ou lavagem de 20 mm	Re	Boca de rega ou lavagem de 20 mm	<input type="checkbox"/>

Figura 28: Interface da janela onde há possibilidade de alteração de parâmetros dos consumos no CYPE.

Consumo

Lavatório individual

Características gerais

Referência no desenho: Lv

Descrição: Lavatório individual

Altura das válvulas: 0.500 m

Tipo: Misturadora

Separação entre as válvulas: 0.200 m

Representação gráfica

Etiqueta

Símbolo

Dados para dimensionamento e verificação

Caudal de água fria: 0.10 l/s

Caudal de água quente: 0.10 l/s

Diâmetro: 12.0 mm

Pressão mínima: 5.00 mca

Pressão máxima: 60.00 mca

Descrição das verificações a realizar

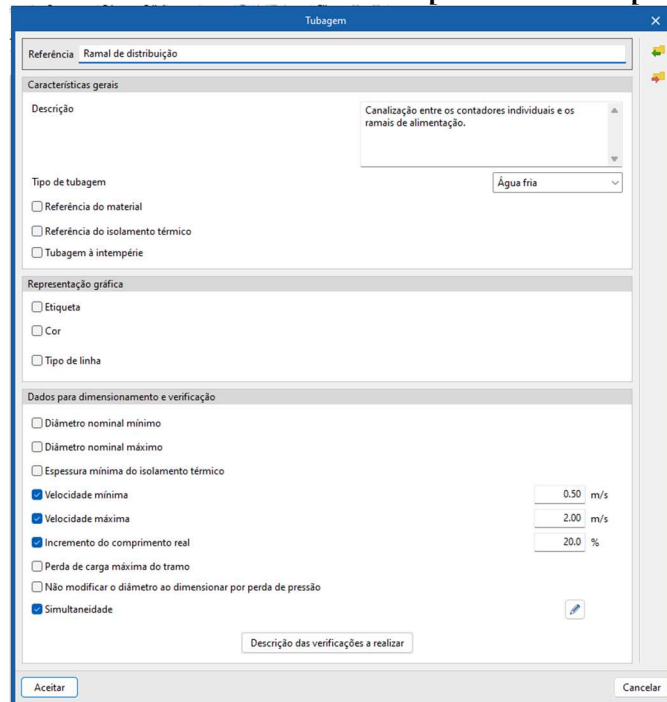
Aceitar Cancelar

Ainda, é possível estabelecer os diâmetros mínimos para cada unidade de consumo, de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995).

4.5.4. Velocidade mínima e máxima admitidas

O CYPECAD considera por defeito as velocidades mínimas e máximas de 0,5 m/s e 2,0 m/s respetivamente. Porém, esses valores podem ser modificados, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29: Velocidades mínimas e máximas pré-estabelecidas pelo CYPE.



4.5.5. Perdas de carga contínua e localizada

As perdas de pressão em cada tramo da rede são calculadas com a fórmula de Darcy-Weisbach, em função do caudal (CYPECAD WaterSystems, 2023). Sendo o fator de resistência, f , função do Número de Reynolds. Assim, a perda de carga é estimada pela seguinte expressão:

$$h_p = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (11)$$

Sendo:

h_p : perda de carga ao longo do comprimento do tubo

f : fator de resistência

L : comprimento da tubagem (m)

Q : caudal (m³/s)

g : aceleração da gravidade (m/s²)

D : diâmetro da tubagem (m)

4.5.6. Pressão na rede

Assim como para pressões verificação das velocidades, o CYPECAD disponibiliza por defeito as pressões máximas e mínimas definidas pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995). Porém, tal como nas situações anteriores, estes valores podem ser modificados pelo utilizador, se considerar adequado.

4.5.7. Dimensionamento da rede de abastecimento

Depois de feito o traçado da rede, realizou-se então o dimensionamento conforme os parâmetros descritos anteriormente. As verificações realizadas pelo software são em relação ao diâmetro nominal, ao diâmetro interior, ao caudal e a velocidade. Os cálculos para a obtenção desses valores são baseados no caudal individual, no coeficiente de simultaneidade, na rugosidade absoluta, na viscosidade da água e no comprimento equivalente da tubulação. Como exemplo do dimensionamento, mostram-se na Figura 30 e na Figura 31 os resultados detalhados para o ramal de ligação (troço K-T).

Figura 30: Dados do dimensionamento conforme CYPE.

Referência:

TH1. Ramal de ligação

Descrição:

Caudal bruto: 1.4 l/s

Simultaneidade: 0.46435

Caudal com simultaneidade: 0.65 l/s

Rugosidade absoluta: 0.003 mm

Viscosidade de água fria: 1.01×10^{-6} m²/s

Comprimento equivalente: 8.528 m

Figura 31: Verificações do dimensionamento conforme CYPE.

Verificação	Valores	Estado
Diâmetronominal <i>Artigo 35.º do RGSPDADAR</i> <i>O diâmetro mínimo admitido para os ramais de ligação é de 20 mm, excepto quando estes tenham de assegurar simultaneamente o serviço de combate a incêndios sem reservatório de regularização, caso em que esse diâmetro não deverá ser inferior a 45 mm.</i>	Mínimo: 32 mm Calculado: 32 mm	Verifica
Cálculohidráulico		
Diâmetrointerior <i>A determinação dos diâmetros é feita através da Equação da Continuidade e da formulação de Darcy-Weisbach.</i>	Mínimo: 23.5 mm Calculado: 26.2 mm	Verifica
Caudal <i>Artigo 93.º do RGSPDADAR</i> <i>Os caudais de cálculo na rede predial de água fria e de água quente devem basear-se nos caudais instantâneos atribuídos aos dispositivos de utilização e nos coeficientes de simultaneidade.</i>	Calculado: 0.65 l/s Máximo: 0.81 l/s	Verifica
Velocidade <i>Artigo 94.º do RGSPDADAR</i> <i>As velocidades de escoamento deverão oscilar entre 0,5 m/s e 2,0 m/s, por razões de conforto e durabilidade das tubagens, uma vez que a maioria dos ruídos nas canalizações se devem a velocidades de escoamento do fluido elevadas, as quais dão lugar à produção de vibrações.</i>	Mínimo: 0.5 m/s Calculado: 1.21 m/s Máximo: 1.5 m/s	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

4.6. Comparação dos resultados

Para evidenciar as diferenças relativas à aplicação das duas metodologias, apresentam-se as plantas com os resultados finais dos dimensionamentos, tanto pelo método tradicional (Figura 32: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo método tradicional.), como pelo CYPE (Figura 33), relativas à rede no pavimento rés do chão.

Figura 32: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo método tradicional.

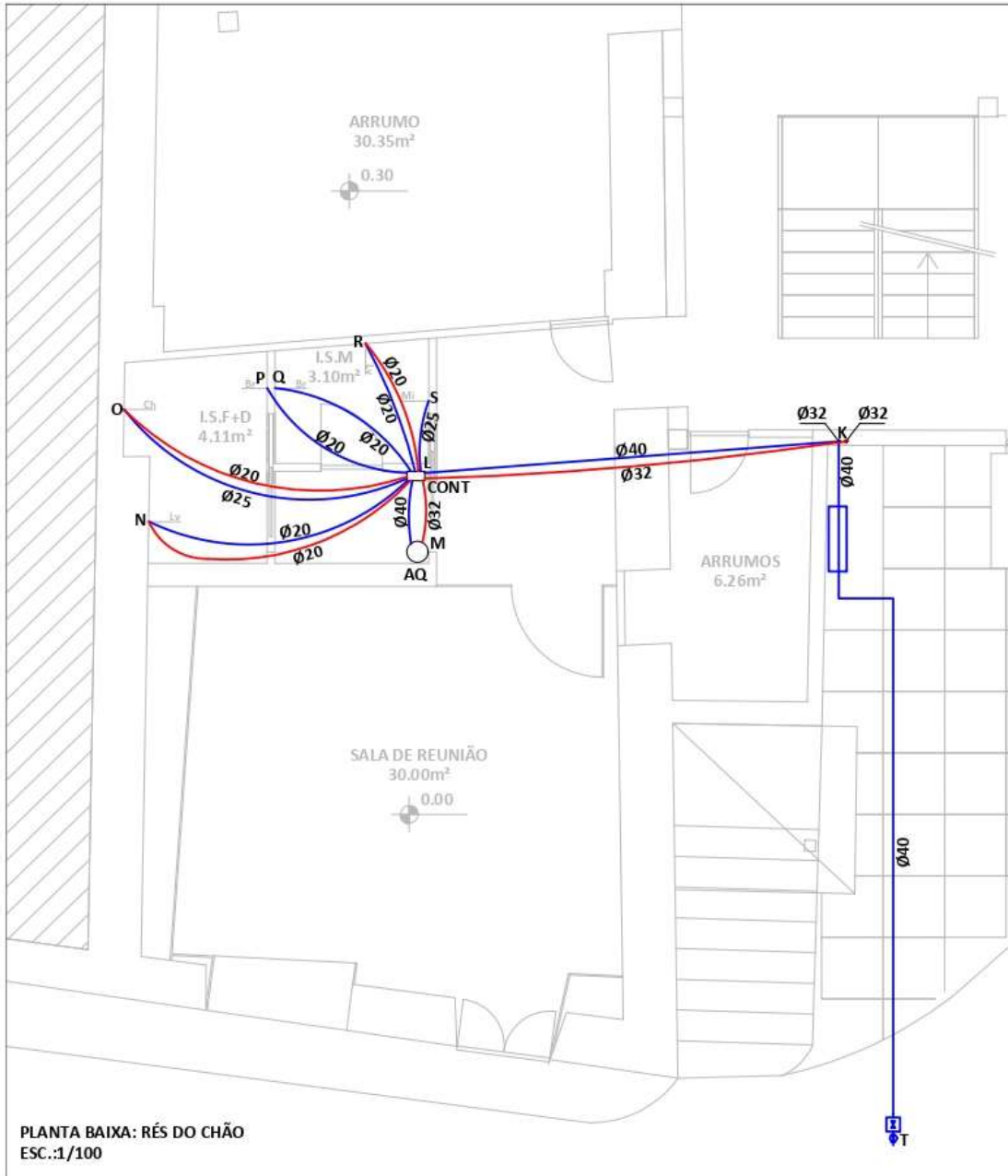
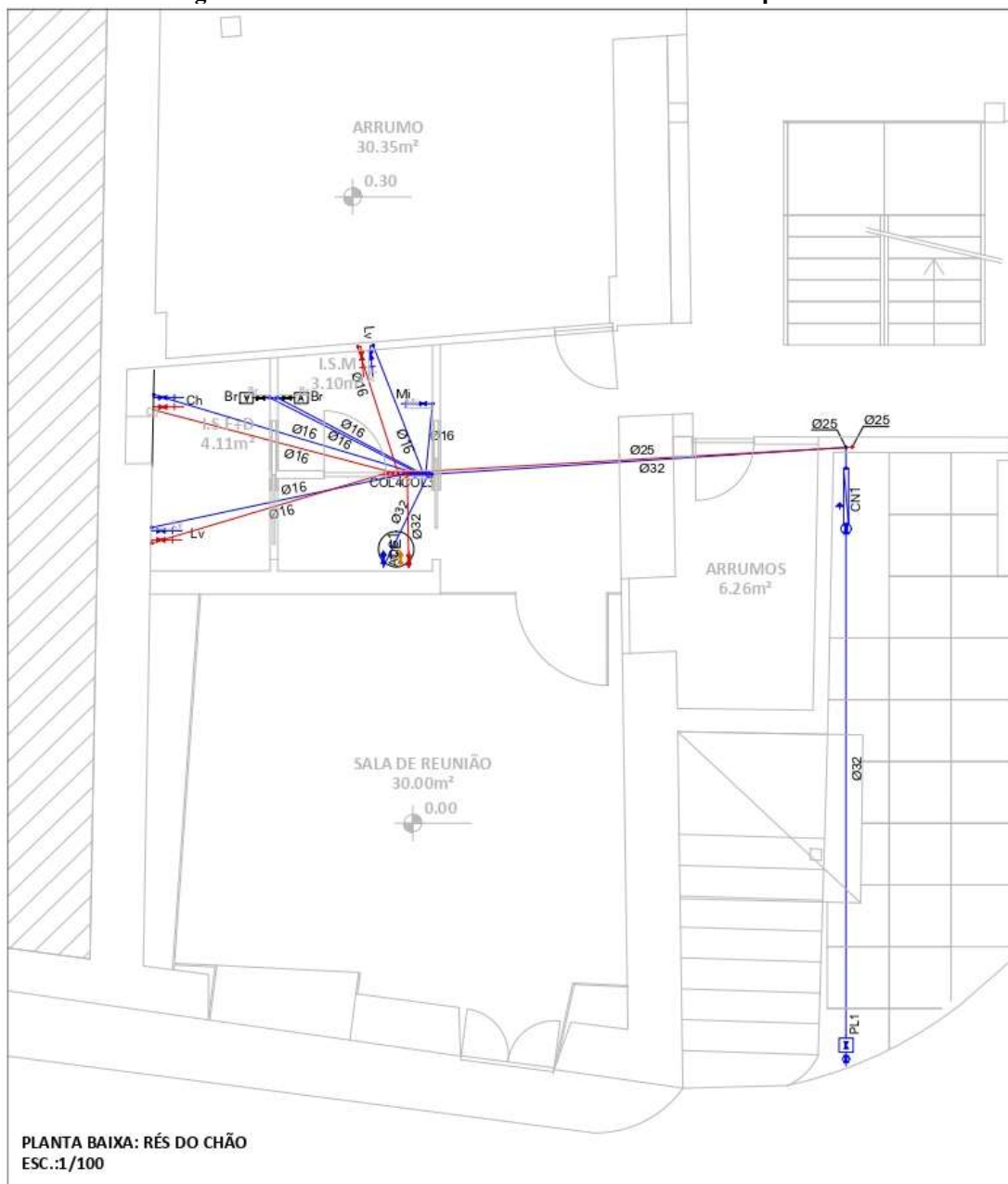


Figura 33: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo CYPE.



As diferenças encontradas nos resultados finais foram as seguintes:

- Nos troços de tubagem que conectam os dispositivos de utilização às caixas coletoras: para o dimensionamento realizado pelo cálculo tradicional, o diâmetro mínimo calculado foi de Ø20, já no caso do CYPE, o programa adota um Ø16 para aqueles com caudais até 0,1 l/s e Ø20 para aqueles com caudais até 0,2 l/s;

- Na coluna de água fria: pelo cálculo tradicional os diâmetros calculados foram de Ø32 no troço E-K e Ø25 no troço E-A, já para o CYPE, um Ø25 e Ø20, respetivamente já seriam suficientes;
- Na coluna de água quente: pelo cálculo tradicional os diâmetros calculados foram de Ø32 no troço E-K e Ø20 no troço E-A, já para o CYPE, um Ø25 e Ø16, respetivamente já seriam suficientes;
- No troço de tubagem que liga o equipamento de aquecimento de água (L-M): pelo cálculo tradicional é necessário um Ø40 e pelo cálculo realizado pelo CYPE, um Ø32 é suficiente;
- O troço de tubagem de ligação com a rede pública (K-T): pelo cálculo tradicional é necessário um Ø40 enquanto que pelo CYPE, um Ø32 é suficiente;
- A pressão no ponto de ligação com a rede pública: pelo cálculo realizado no método tradicional, seriam necessários 24,65 mca, enquanto que pelo dimensionamento realizado pelo CYPE, seriam necessários 24,76 mca.

Em relação a diferença encontrada nos diâmetros, essa pode ser explicada pelo valor da velocidade que foi considerado. Quanto maior a velocidade aceitável, menor vai ser o diâmetro necessário. Como no cálculo pelo método tradicional foi estabelecido um valor máximo de 1 m/s, nenhum das velocidades verificadas ultrapassa esse valor. Já no CYPE, como o intervalo aceite era de 0,5 m/s a 1,5 m/s, em alguns troços a velocidade ficou superior a 1 m/s, resultando em diâmetros ligeiramente menores.

Em relação a pressão necessária disponível na rede pública, a diferença é muito pouco relevante e pode ser explicada pelas formulações diferentes usadas para estimar as perdas de carga contínuas.

4.7. Critérios de cálculo para a rede de drenagem de águas residuais domésticas

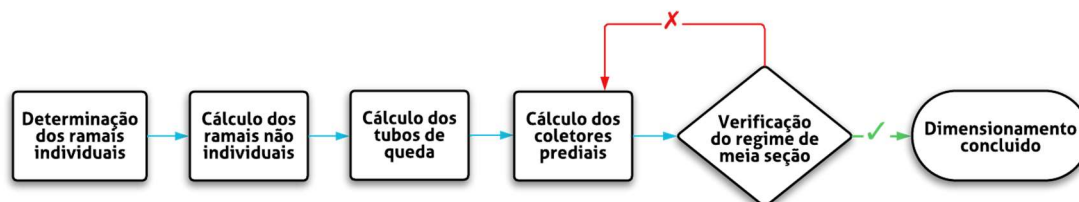
De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995), a conceção dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas deve passar pela análise prévia e cuidada do destino final a dar aos efluentes, tanto do ponto de vista de proteção dos recursos naturais, como de saúde pública e de economia global da obra.

Na regulamentação, existe, ainda, a imposição de separação das redes de drenagem de águas residuais domésticas das de águas pluviais, pelo menos até às câmaras

de ramal de ligação (no caso de rede pública de drenagem única) ou até às respetivas redes públicas de drenagem (Pedroso, 2000).

A Figura 34 resume o processo de dimensionamento e as verificações a se fazer.

Figura 34: Fluxograma do processo de cálculo da rede de drenagem de águas residuais.



4.7.1. Material das tubulações

Além das condições económicas e de aplicação, no caso da drenagem de águas residuais domésticas, na seleção do material a utilizar nas tubagens, deve ser levado em conta a composição e temperatura das águas residuais drenadas.

Entre os materiais disponíveis no mercado, Pedroso (2000) cita as tubagens metálicas, de ferro fundido e as termoplásticas, sendo esta última a mais utilizada. Neste projeto, o material utilizado para a rede de drenagem de águas residuais domésticas foi o polietileno de vinilo (PVC).

4.7.2. Nível de conforto

O nível de conforto estabelecido na rede deve ser definido em função das exigências de utilização previstas para o edifício em questão. Esta escolha tem impacto em vários aspetos, tais como: caudais disponibilizados, coeficiente de simultaneidade e ruídos.

De acordo com a regulamentação, o nível de conforto pode ser definido como baixo, médio e elevado. Neste caso, estabeleceu-se um nível de conforto médio.

4.7.3. Dispositivos de utilização, caudais de descarga, caudal acumulado e caudal de cálculo

Os caudais de descarga são os caudais descarregados pelos aparelhos sanitários para a rede de drenagem, levando em conta as suas características particulares (Pedroso,

2000). Os valores de referência para dos dispositivos tradicionais estão indicados na Tabela 11, salvo os casos em que o fabricante recomente um valor superior.

Tabela 11: Caudais de descarga.

Aparelho	Caudal (l/min)
Bacia de retrete	90
Banheira	60
Bidé	30
Chuveiro	30
Lavatório	30
Máquina de lavar louça	60
Máquina de lavar roupa	60
Urinol de espaldar	90
Urinol suspenso	60
Lava-louça	30
Tanque de lavar roupa	60

A partir dos caudais instantâneos, Q_i , é obtido o caudal acumulado, Q_a , sendo este a soma dos caudais instantâneos dos dispositivos de utilização que descarregam num determinado troço da rede.

$$Q_a = \sum Q_i \quad (12)$$

Analogamente ao sistema de distribuição de água, o cálculo do caudal de cálculo, Q_c , é calculado considerando a probabilidade de num mesmo edifício, todos os dispositivos procederem a descarga simultânea. Assim, o caudal de cálculo é obtido por meio da multiplicação do caudal acumulado por um coeficiente de simultaneidade, c_s .

$$Q_c = c_s \cdot Q_a \quad (13)$$

Os coeficientes de simultaneidade poderão ser obtidos por via analítica ou gráfica, em função do nível de conforto que foi estabelecido. No caso do nível de conforto médio aplica-se a seguinte equação:

$$Q_c = 7.3497 \cdot Q_a^{0,5352} \quad (14)$$

4.7.4. Ramais de descargas individuais

Os ramais de descarga individuais são as canalizações responsáveis pelo transporte das águas dos aparelhos sanitários para os tubos de queda ou para o coletor predial. De acordo com (Pedroso, 2000), os diâmetros mínimos a considerar para cada aparelho sanitário devem estar de acordo com a

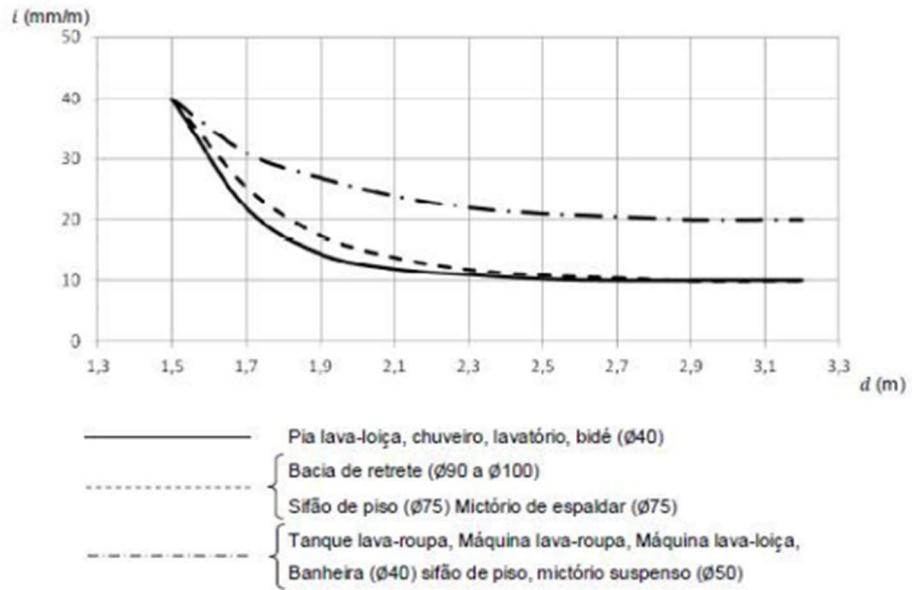
Tabela 12. As inclinações devem ser compreendidas entre 10 e 40 mm/m.

Tabela 12: Diâmetros mínimos dos ramais de descarga individuais.

Aparelho sanitário	Diâmetro mínimo do ramal individual (mm)
Bacia de retrete	90
Banheira	40
Bidé	
Chuveiro	
Lavatório	
Máquina de lavar louça	50
Máquina de lavar roupa	
Tanque de lavar roupa	
Urinol suspenso	
Lava-louça	
Urinol de espaldar	75

Ainda de acordo com Pedroso (2000), os ramais de descarga podem ser dimensionados para um escoamento a secção cheia somente nos casos onde se aplica ventilação primária, desde que a distância entre o sifão e a secção ventilada não ultrapasse o valor máximo admissível obtido pelo ábaco da Figura 35. Caso contrário, o dimensionamento deverá ser feito como para os ramais de descarga não individuais.

Figura 35: Distância máxima entre sifão e seção ventilada (Pedroso, 2000).



De acordo com os aparelhos sanitários de cada pavimento e seguindo as informações recolhidas no local, foram nomeados os troços de tubagens, conforme mostram a Figura 36, a Figura 37 e a Figura 38. Em seguida, foram então identificados os caudais de descarga e seus respectivos diâmetros mínimos, como mostra a Tabela 13.

Figura 36: Estudo rede de drenagem 2º pavimento.

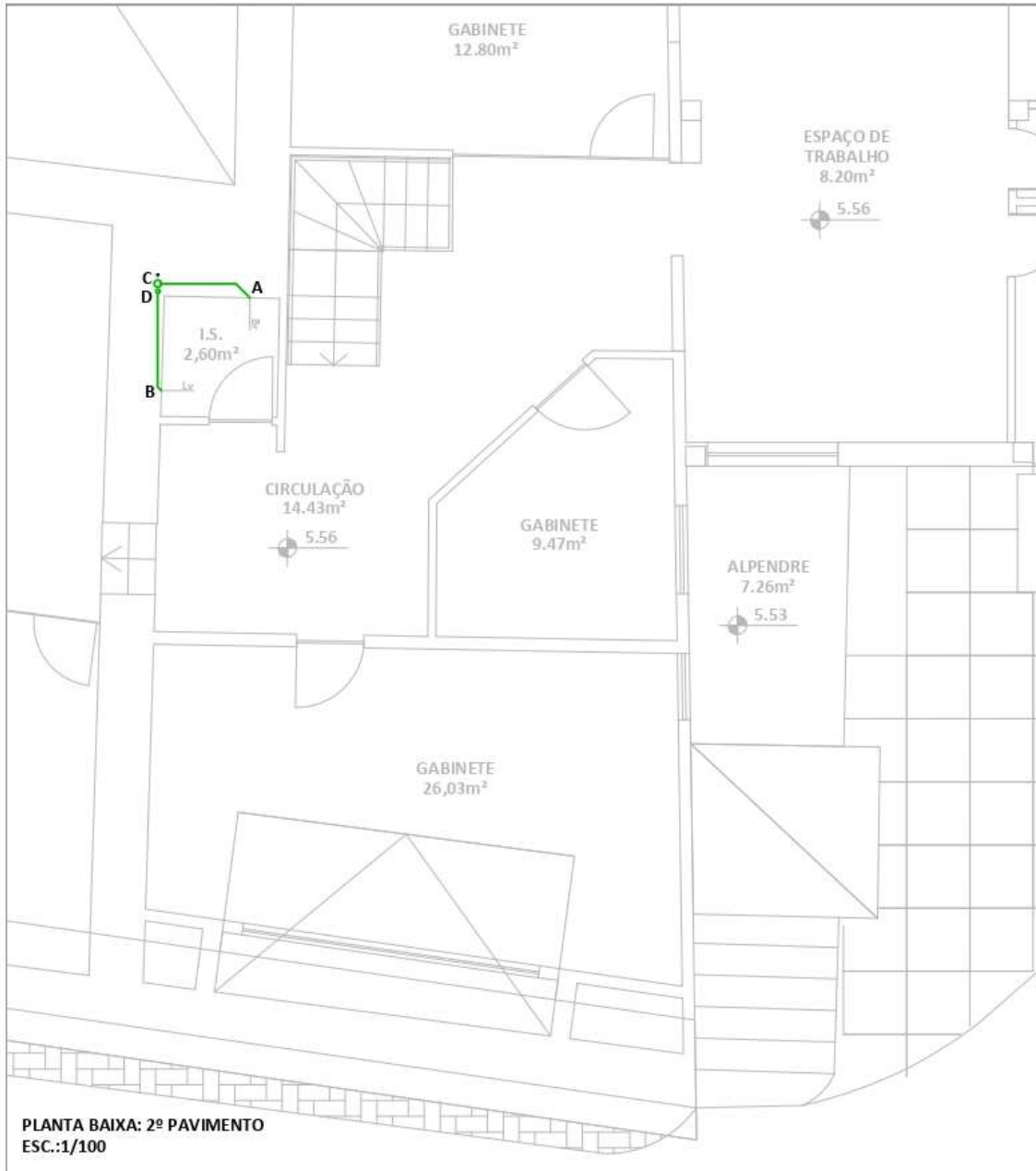


Figura 37: Estudo rede de drenagem 1º pavimento.

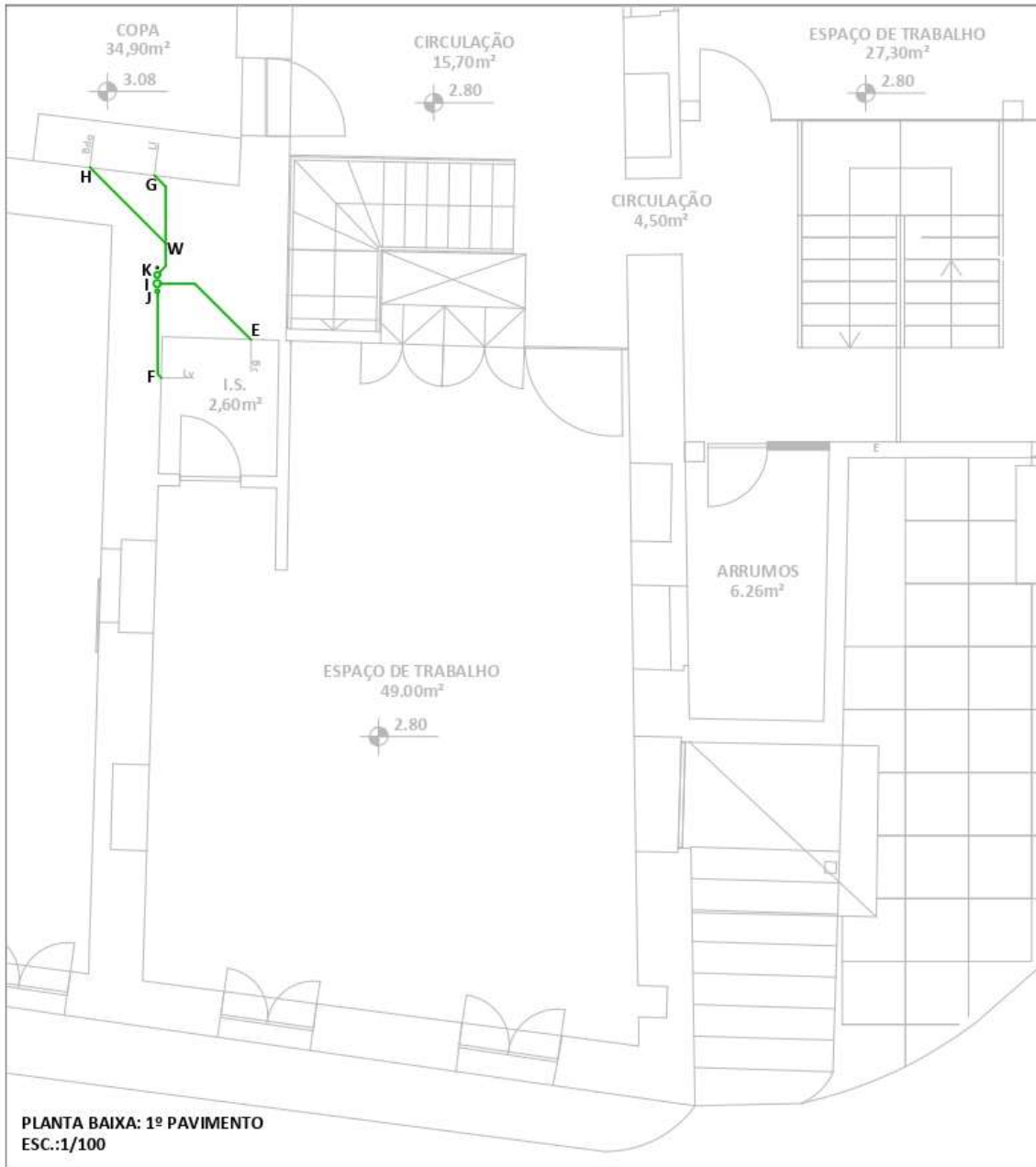


Figura 38: Estudo rede de drenagem rés do chão.

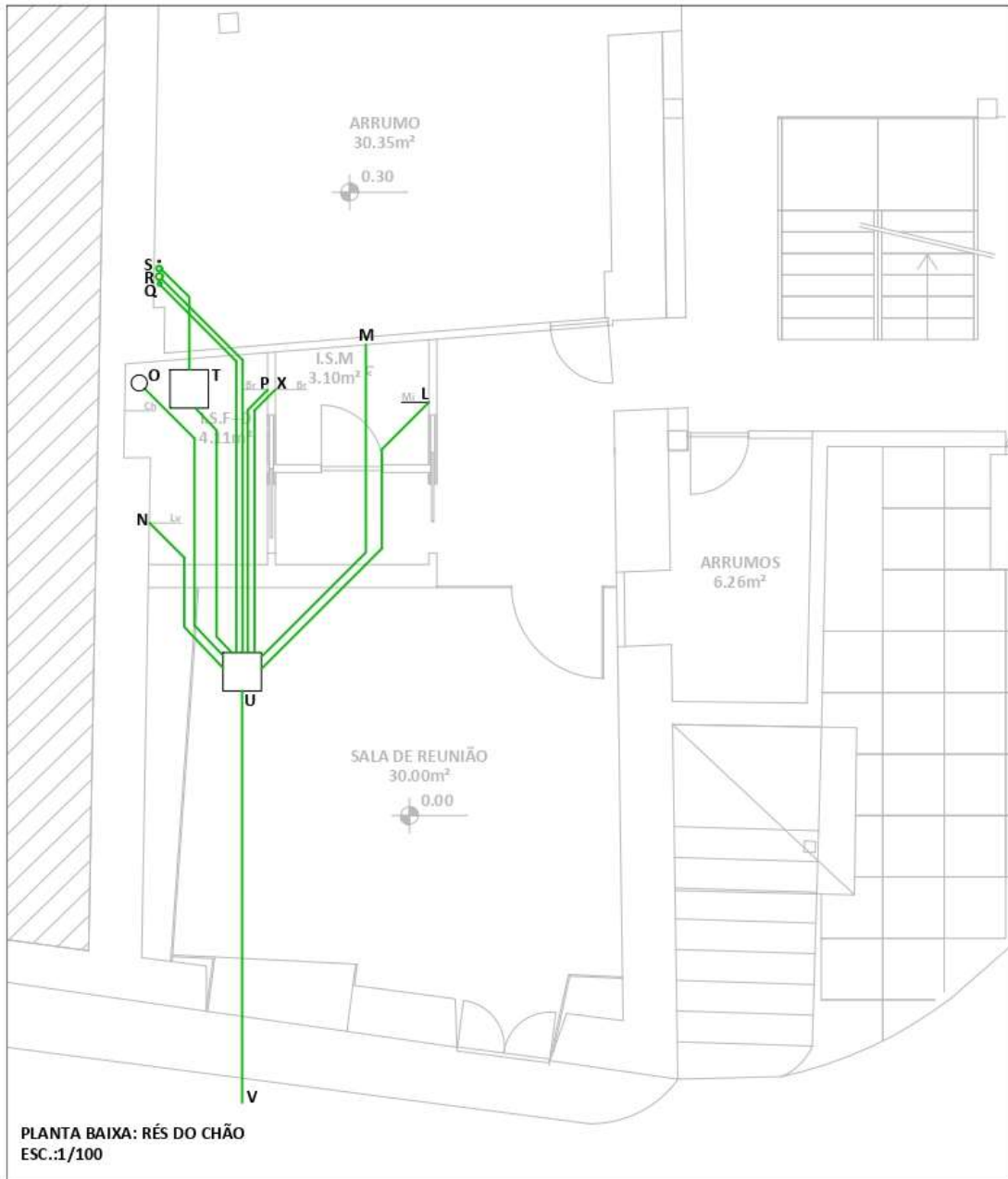


Tabela 13: Caudais de descarga, cálculo dos caudais de cálculo e diâmetro mínimo estabelecido.

Ramais de descarga individuais					
Troço	Q_a	Q_c	DN	DI	i
	l/min	l/min	mm	mm	mm/m
A-C	90	81,69	90	85,6	10
B-D	30	30,00	40	36,4	10
E-I	90	81,69	90	85,6	10
F-J	30	30,00	40	36,4	10
H-W	30	30,00	50	45,6	10
G-W	30	30,00	50	45,6	10
N-U	30	30,00	40	36,4	10
O-U	30	30,00	40	36,4	10
P-U	90	81,69	90	85,6	10
X-U	90	81,69	90	85,6	10
M-U	30	30,00	40	36,4	10
L-U	60	60,00	50	45,6	10

4.7.5. Ramais de descargas não individuais

Diferente dos ramais individuais, os ramais não-individuais deverão ser dimensionados para um escoamento não superior a meia secção. Assim, utilizando o caudal de cálculo, a determinação do diâmetro interior dos ramais de descarga pode ser feita de três maneiras: através da fórmula de Manning Strickler, através de ábacos ou por meio de valores tabelados.

Pela fórmula de Manning Strickler temos:

$$Q_c = K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (15)$$

Sendo:

Q_c : caudal de cálculo (m³/s)

K : coeficiente de rugosidade de Manning Strickler (m^{1/3}/s⁻¹)

A : secção útil de escoamento (m²)

R : raio hidráulico (m)

i : inclinação da tubagem (m/m)

No caso de o dimensionamento ser feito por meio do uso de ábacos, a Figura 39 e a Figura 40: Ábaco para dimensionamento com escoamento a secção cheia $K=120$ m^{1/3}/s

ilustram as relações entre inclinação, caudais e diâmetros para escoamentos a meia seção e a seção cheia, respectivamente.

O raio hidráulico é obtido através do quociente entre a área da seção líquida e o perímetro da seção líquida em contato com as paredes de tubagem. Pode ser obtido através da divisão do diâmetro interior da tubagem (D) por quatro, sendo, para escoamentos a meia seção:

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,4980 \cdot K^{3/8} \cdot i^{3/16}} \quad (16)$$

Figura 39: Ábaco para dimensionamento com escoamento a meia seção $K=120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (Pedroso, 2000).

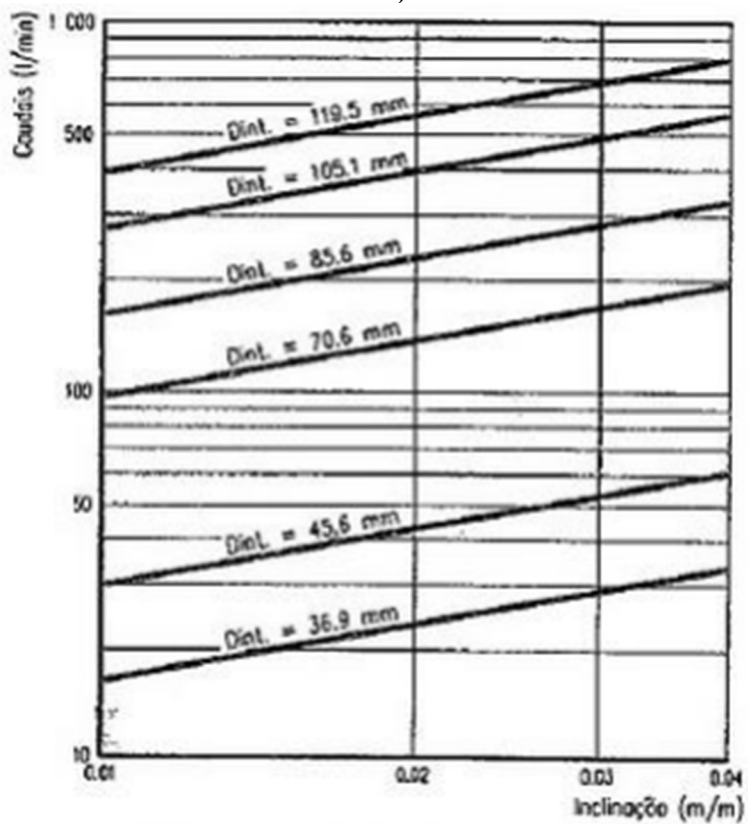
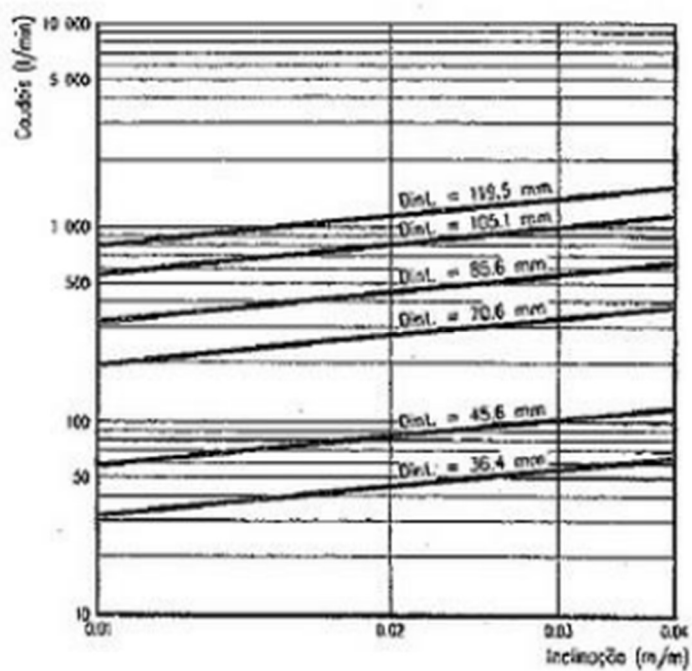


Figura 40: Ábaco para dimensionamento com escoamento a seção cheia $K=120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (Pedroso, 2000).



Por fim, se o dimensionamento for feito por meio de valores tabelados, esses devem ser de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14: Dimensionamento dos ramais de descarga não individuais (Pedroso, 2000).

DN (mm)	Diâmetro interior (mm)	Caudais (l/min)			
		Inclinação			
		1%	2%	3%	4%
40	36,4	16	23	28	33
50	45,6	30	42	52	60
75	70,6	96	135	165	191
90	85,6	160	226	277	319
110	105,1	276	390	478	552
125	119,5	389	550	673	777

Os valores obtidos no dimensionamento destas tubagens estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Cálculo dos caudais acumulados, de cálculo e diâmetro estabelecido.

Ramais de descarga não individuais					
Troço	Q _a	Q _c	DN	DI	i
	l/min	l/min	(mm)	(mm)	mm/m
W-K	60	60,00	75	70,6	10
S-T	60	60,00	75	70,6	10
T-U	60	60,00	75	70,6	10
R-U	180	118,38	90	85,6	10
Q-U	60	60,00	75	70,6	10

4.7.6. Tubos de queda

Os tubos de queda são tubagens verticais responsáveis por aglutinar em si as descargas provenientes dos pisos mais elevados e transportá-las para o coletor predial (Pedroso, 2000). Podem ser embutidos nas paredes, mas preferencialmente devem ser instalados em galerias, e devem ser constituídos por um único alinhamento reto.

O dimensionamento dos tubos de queda deve ser feito em função da taxa de ocupação máxima do caudal drenado e do seu caudal de cálculo. O diâmetro resultante nunca pode ser inferior ao maior dos diâmetros dos ramais que para ele confluem, com um mínimo de 50 mm. Novamente, o valor do diâmetro a ser adotado pode ser obtido por meio de uma expressão, através da Tabela 16: Dimensionamento dos tubos de queda ou ainda por meio do ábaco da Figura 41.

Através da expressão temos:

$$D = 4,4205 \cdot Q^{3/8} \cdot t_s^{-5/8} \quad (17)$$

Sendo:

D : diâmetro da tubagem (m)

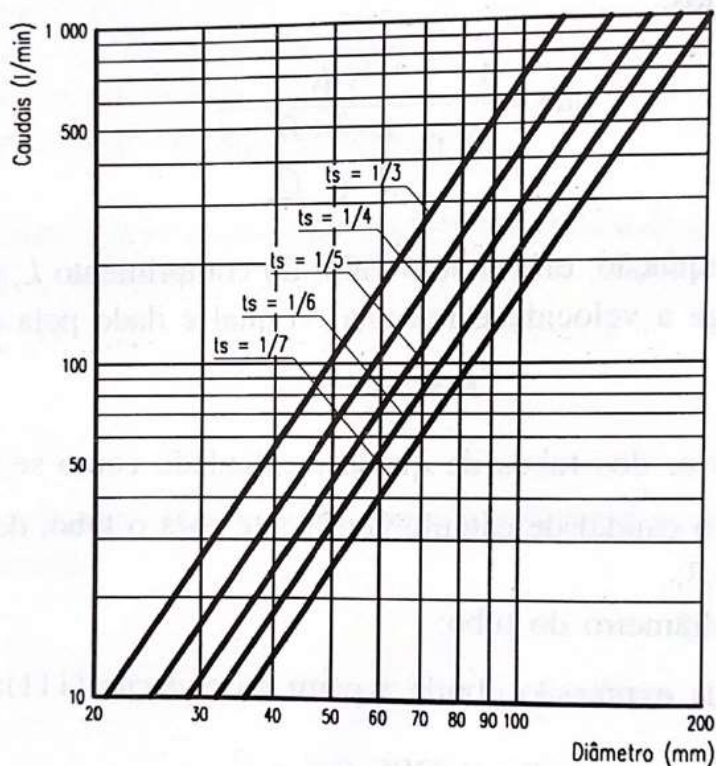
Q : caudal (m³/s)

t_s : taxa de ocupação

Tabela 16: Dimensionamento dos tubos de queda (Pedroso, 2000).

DN (mm)	Diâmetro interior	Caudais (l/min)				
		Taxa de ocupação				
		1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
50	45,6	81	50	34	25	20
75	70,6	259	160	111	82	63
90	85,6	433	268	185	136	106
110	105,1	749	464	320	236	182
125	119,5	1055	653	450	332	257
140	133,9	1429	885	610	450	348
160	153	2039	1262	870	642	497
200	191,4	3704	2293	1581	1167	902
250	239,4	6728	4165	2872	2119	1639

Figura 41: Ábaco para determinação do diâmetro dos tubos de queda (Pedroso, 2000).



No caso de tubulações verticais, deve ser levado em conta a taxa de ocupação na tubagem, que consiste na razão entre a área ocupada pela massa líquida e a área da secção interior do tubo (Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, 1995). Além disso, para evitar variações de pressões e consequentemente descargas ruidosas, a taxa de ocupação não deve exceder o valor de um terço em sistemas com ventilação secundária, e um sétimo em sistemas sem ventilação secundária. De acordo com o diâmetro do tubo

de queda adotado, tem-se uma taxa de ocupação correspondente, que vai determinar o caudal máximo admitido pela tubulação. Essa relação está descrita na Tabela 17.

Tabela 17: Diâmetro do tubo de queda em função da taxa de ocupação (Pedroso, 2000).

Diâmetro do tubo de queda (mm)	Taxa de ocupação (ts)
D = 50	1/3
50 < D ≤ 75	1/4
75 < D ≤ 100	1/5
100 < D ≤ 125	1/6
D > 125	1/7

A Tabela 18 apresenta os valores obtidos para o dimensionamento dos tubos de queda.

Tabela 18: Cálculo dos caudais acumulados, de cálculo e diâmetro estabelecido e verificação do caudal.

Tubos de queda					
Troço	Q_a	Q_c	DN	DI	ts
	l/min	l/min	(mm)	(mm)	
C-I	90	81,69	90	85,60	0,20
D-J	30	30,00	50	45,60	0,33
K-S	60	60,00	75	70,60	0,25
I-R	180	118,38	90	85,60	0,2
J-Q	60	60,00	50	45,60	0,33

4.7.7. Coletores prediais

Os coletores prediais são as tubulações destinadas a aglutinar em si as descargas provenientes dos tubos de queda e eventualmente de ramais adjacentes, transportá-las até à câmara de ramal de ligação e posteriormente para o ramal público (Pedroso, 2000). O seu diâmetro não deve ser inferior ao maior dos diâmetros das canalizações que para ele confluem, com um mínimo de 100 mm. Os coletores prediais podem ser dimensionados através da fórmula de Manning-Strinckler ou ainda através da Tabela 19:

Tabela 19: Diâmetro dos coletores prediais (Pedroso, 2000).

DN (mm)	Diâmetro interior (mm)	Caudais (l/min)			
		Inclinação			
		1%	2%	3%	4%
110	105,1	276	390	478	552
125	119,5	389	550	673	777
140	133,9	527	745	912	1053
160	153	751	1063	1301	1503
200	191,4	1365	1931	2365	2730
250	239,4	2479	3506	4294	4959
315	301,8	4598	6503	7965	9197

De acordo com a Tabela 19, a Tabela 20 mostra os valores obtidos para o dimensionamento do coletor predial.

Tabela 20: Cálculo dos diâmetros nominais e internos para o coletor predial.

Coletores prediais					
Troço	Q _a	Q _c	DN	DI	i
	l/min	l/min	(mm)	(mm)	mm/m
U-V	630	231,46	110	105,1	20

4.7.8. Ventilação

O sistema de ventilação de uma canalização pode ser feito de duas formas: a ventilação primária e a secundária. A ventilação primária é obtida através do prolongamento dos tubos de queda até sua abertura na atmosfera, e a ventilação secundária é feita através de colunas exclusivas para ventilação (Pedroso, 2000).

De acordo com o Decreto Regulamentar nº 23/95 de 1995, os sistemas de drenagem de águas residuais domésticas têm sempre ventilação primária. Caso estes não existam, a ventilação deve ser feita pela instalação de colunas de ventilação nos extremos de montante dos coletores prediais.

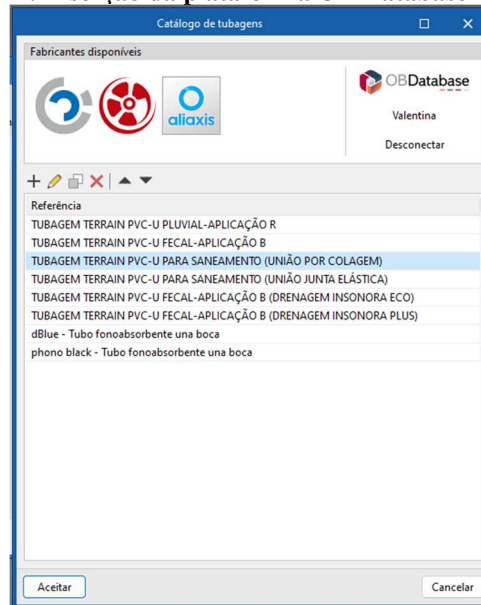
4.8. Critérios de cálculo para a rede de drenagem de águas residuais pelo CYPE

Assim como para o dimensionamento da rede de distribuição de água, o CYPECAD Sanitary Systems, disponibiliza uma base de dados com os parâmetros estabelecidos pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995).

4.8.1. Material das tubulações

Através da plataforma OB Database os fabricantes colocam à disposição as informações técnicas necessárias para que os projetistas possam empregar em seus projetos dimensões reais, obtendo resultados mais precisos e adaptando os seus projetos às características de cada instalação. A Figura 42 mostra como a plataforma OB Database é inserida no CYPE.

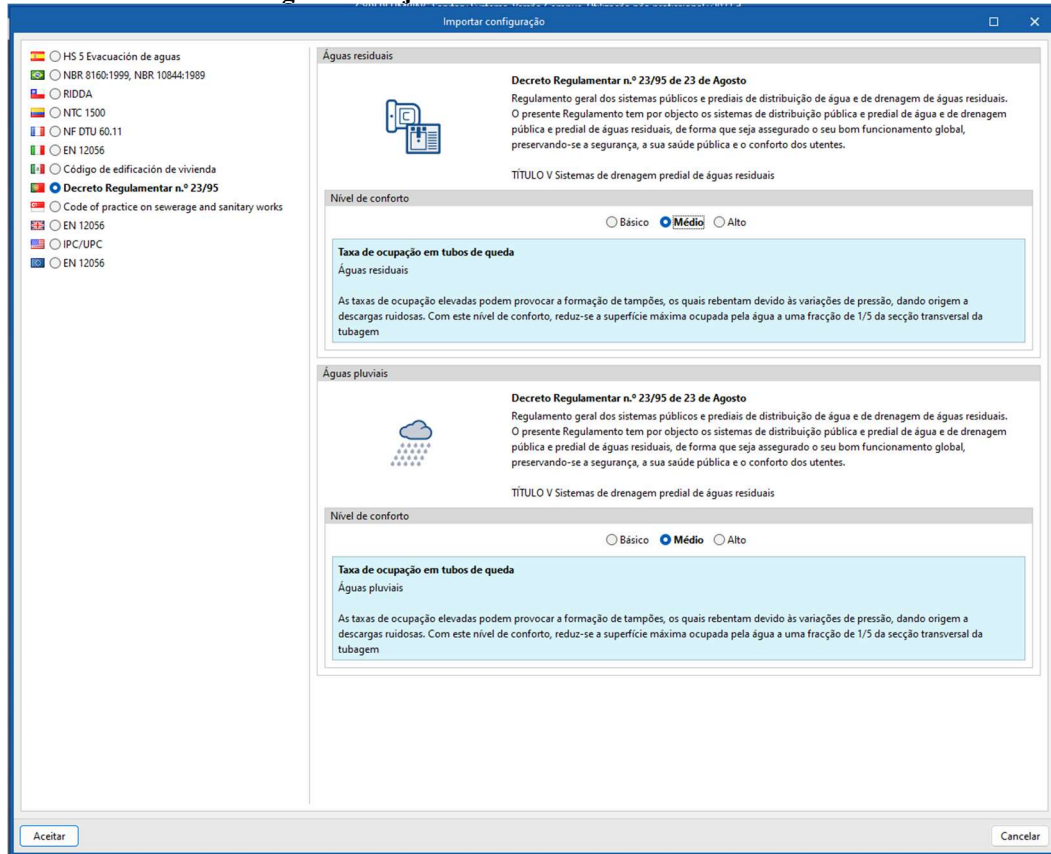
Figura 42: Inserção da plataforma OB Database no CYPE.



4.8.2. Nível de conforto e taxa de ocupação

O projetista consegue definir o nível de conforto desejado, o que vai influenciar diretamente na taxa de ocupação máxima admitida na hora de realizar o dimensionamento e verificação das tubulações. Esses ajustes podem ser feitos na janela ilustrada pela Figura 43.

Figura 43: Ajuste do nível de conforto no CYPE.



4.8.3. Caudal de cálculo e ramais de descarga individuais

O software tem na sua biblioteca os dispositivos de utilização (descargas) mais comuns. Cada um inclui os respetivos dados necessários para o dimensionamento e verificação (Figura 44). Os caudais gerados por cada aparelho seguem de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto (1995), sendo que a verificação cumpre ainda com o requisito de diâmetro mínimo. Esses valores podem ser alterados pelo utilizador, caso haja necessidade.

Figura 44: Exemplo de descarga inseridos na biblioteca do CYPE.

4.8.4. Tubagens horizontais

O cálculo das tubagens horizontais é feito por meio da fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A_h \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (18)$$

Sendo:

Q : caudal (m^3/s)

A_h : seção molhada (m^2)

n : coeficiente de Manning, para um escoamento a meia secção

i : inclinação da tubagem (m/m)

R_h : raio hidráulico (m)

Ao adicionar uma tubulação horizontal, também é possível determinar parâmetros como o diâmetro nominal, a inclinação e o caudal bruto, e fixar esses valores para que na hora de realizar os cálculos esses valores se mantenham. Além disso, o programa permite adicionar uma cota inicial. A Figura 45 ilustra essas possibilidades.

Figura 45: Interface para inserção de tubagens horizontais no CYPE.

4.8.5. Tubagens verticais

O cálculo das tubagens verticais é feito por meio da fórmula de Dawson e Hunter.

$$Q = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot r^{5/3} \cdot D^{8/3} \quad (19)$$

Sendo:

Q : caudal (l/s)

r : taxa de ocupação

D : diâmetro (mm)

O traçado da rede inicia-se com uma taxa de ocupação de um terço e, depois de realizado o cálculo, caso o troço de tubulação não verifique, a taxa de ocupação é diminuída até que todos os requisitos sejam cumpridos. Analogamente a tubulação horizontal, é possível determinar e fixar parâmetros (Figura 46).

Figura 46: Interface para inserção de tubagens verticais no CYPE.

Referência

Referência da tubagem

Águas residuais Águas pluviais Ventilação

Tubo de queda de águas Ts=1/3 (D=50) Tubo de queda de águas Ts=1/5 (75<D<=100) Tubo de queda de águas Ts=1/7 (D>125)

Tubo de queda de águas Ts=1/4 (50<D<=75) Tubo de queda de águas Ts=1/6 (100<D<=125)

Tubo de queda de águas residuais, com taxa de ocupação 1/3, sem ventilação secundária.
PVC liso

Dados gerais

Diâmetro nominal 32 mm

Caudal bruto 41.70 l/min

Simultaneidade 1.0000

Considerar como um tramo de colector

Disposição 3D

Cota inicial 0.000 m

Cota final 0.000 m

Etiqueta

Orçamento

Tubagem vertical

Verificações

Dados gerais

Diâmetro nominal mínimo 32 ≥ 50 mm ✗

Diâmetro nominal máximo 32 ≤ 50 mm ✓

Cálculo hidráulico

Capacidade hidráulica 41.7 ≤ 195.07 l/min ✓

Taxa de ocupação 39.6246 ≤ 33.33 % ✗

Consultar verificações

Aceitar Cancelar

4.8.6. Dimensionamento da rede de drenagem

Depois de feito o traçado, realizou-se o dimensionamento conforme os parâmetros citados acima. As verificações realizadas pelo programa são em relação ao diâmetro nominal mínimo, a inclinação, a capacidade hidráulica, a velocidade e a taxa de ocupação. Os cálculos para a obtenção desses valores são baseados no comprimento, na inclinação e no caudal da tubulação. Como exemplo, apresenta-se detalhadamente o resultado para um ramal de descarga individual, dimensionado considerando meia secção (Figura 47 e Figura 48).

Figura 47: Dados do dimensionamento conforme CYPE.

Referência:

TH6 (Br). Ramal de descarga individual meia secção

Descrição:

Comprimento: 0.143 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 90 l/min

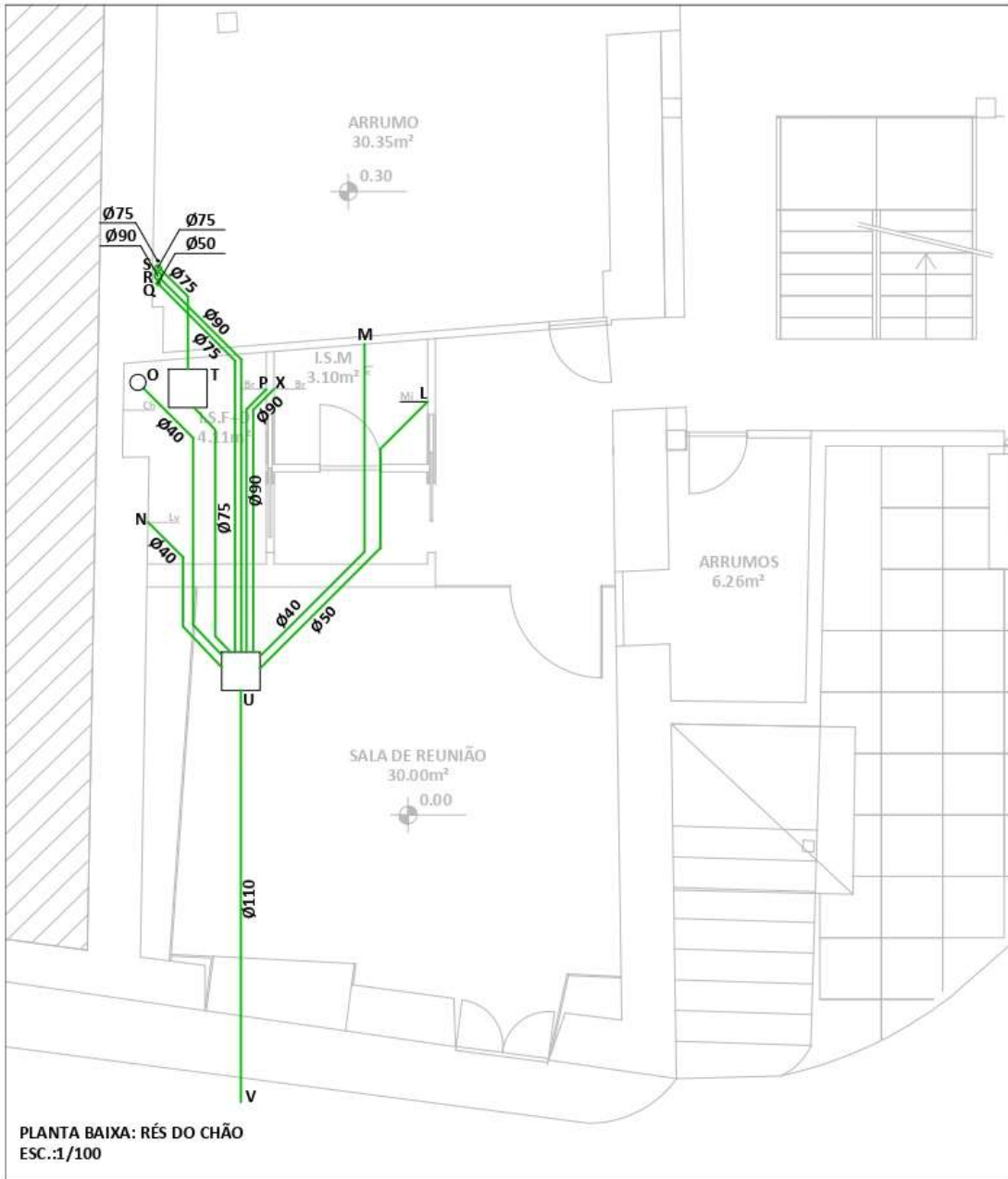
Figura 48: Verificações do dimensionamento conforme CYPE.

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários são os fixados no anexo XIV (ponto 2 do Artigo 215.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR). As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Descarga		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 90 l/min Máximo: 277.66 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.75 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga individuais podem ser dimensionados para escoamento a secção cheia, desde que sejam respeitadas as distâncias máximas entre o sifão e a secção ventilada indicadas no anexo XVI (ponto 2 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 39.1612% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

4.9. Comparação dos resultados

Para evidenciar as diferenças relativas à aplicação das duas metodologias, apresentam-se as plantas com os resultados finais dos dimensionamentos, tanto pelo método tradicional (Figura 49), como pelo CYPE (Figura 50), relativas à rede no pavimento rés do chão.

Figura 49: Planta baixa rés do chão - dimensionamento pelo método tradicional.



- Nos ramais de descarga não individuais: o troço de tubagem S-T e o T-U, levando em consideração o cálculo pelo método tradicional, temos um Ø75, enquanto que o CYPE calcula um Ø110;
- Nos tubos de queda: o troço de tubagem I-R pelo método tradicional obteve um Ø90 enquanto que pelo CYPE calculou-se um Ø110.

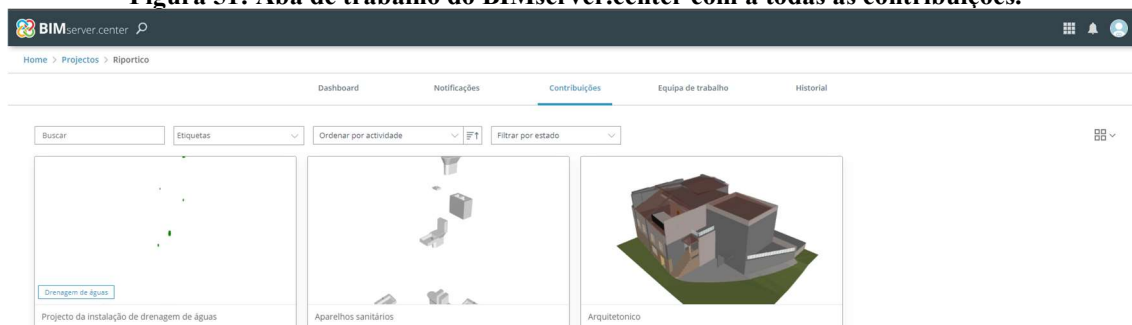
No caso dos ramais individuais, a diferença poderia ser explicada pela determinação dos diâmetros mínimos a se considerar para cada dispositivo. Já para os ramais não individuais, a adoção de variáveis diferentes como a inclinação e o coeficiente de Manning poderia ter causado essa diferença. Além disso, a adoção de diâmetros superiores nos ramais individuais, no caso do CYPE, poderia ter causado um sobredimensionamento em toda a rede.

Por último, no caso do tubo de queda, essa diferença poderia ser explicada pela adoção de uma taxa de ocupação diferente.

4.10. BIMserver.center

Depois de finalizado o dimensionamento do projeto de abastecimento de água e do projeto de drenagem de águas residuais, ambos foram exportados para a plataforma BIMserver.center e adicionados como uma contribuição. A Figura 51 ilustra a aba de contribuições da plataforma com todos os elementos.

Figura 51: Aba de trabalho do BIMserver.center com a todas as contribuições.



5. CONCLUSÕES

Após a realização do dimensionamento das redes de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais pelo método tradicional e utilizando o software CYPE foi possível perceber que os critérios de cálculos adotados são muito semelhantes. Além disso, o fato de o software possibilitar a alteração de diversos parâmetros do dimensionamento, permite ao utilizador ajustar as suas opções em função das especificidades regulamentares, resultando em diferenças mínimas. Assim, considera-se que, ao utilizar a ferramenta num âmbito profissional e após o sempre necessário período de aprendizagem do programa, o trabalho será otimizado, resultando em maior eficiência e rendimento.

Uma questão a ser ressaltada é a interoperabilidade entre os programas. Neste caso, as informações que foram perdidas no processo de transferência do modelo arquitetónico acabaram por não afetar o resultado final. No entanto, noutros casos, a perda de alguns dados e informações pode resultar em erros e falhas cruciais, ou em trabalho adicional de modelação, resultando em perda de produtividade. Nesse sentido, considera-se que deve ser dada uma atenção especial em relação ao estudo e entendimento destes problemas de interoperabilidade.

Um outro aspeto relevante, já que a apresentação final do projeto é um ponto muito importante, prende-se com o facto do software CYPE representar graficamente as redes de forma robusta, não se aproximando do aspeto real dos aparelhos sanitários e das tubagens, por exemplo. A aplicação de um software que realize uma modelagem de forma mais realista possibilitaria uma apresentação melhor ao cliente final.

Por fim, a utilização da plataforma OpenBIM e a exportação dos modelos como uma contribuição é uma ótima forma de controlo dos trabalhos, uma vez que as informações são atualizadas instantaneamente e todos os colaboradores têm acesso em tempo real às contribuições feitas.

REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

- ACCA Software. (2018). *Nível de maturidade BIM no Reino Unido: O Nível 3 cada vez mais próximo*. BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/ptb/nivel-de-maturidade-bim-no-reino-unido-o-nivel-3-cada-vez-mais-proximo/>
- ACCA Software. (2019). *BIM no mundo: A indústria da construção escandinava*. BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/ptb/bim-no-mundo-a-industria-da-construcao-escandinava/>
- ACCA Software. (2020). *BIM no Brasil: Confirma os passos para sua implementação*. BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/ptb/bim-no-brasil-confirma-os-passos-para-sua-implementacao/>
- Aish, R. (1986, julho, 7). Building modelling the key to integrated construction CAD. In *Simpósio Internacional sobre o uso de computadores para engenharia ambiental relacionada a edifícios* [Simpósio]. CIB 1986. Guildhall, Bath. <https://www.researchgate.net/publication/320347623>
- Andrade, M. L. V. X. de, & Ruschel, R. C. (2009). Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 4(2), p.76-111. <https://doi.org/10.4237/gtp.v4i2.102>
- Assis, P., Figueira, R., & Gilabert, P. (2018). *Plataforma open BIM para o projeto de engenharia*. Construção2018, Porto, Portugal. <https://www.topinformatica.pt/artigos/plataforma-open-bim-para-o-projeto-de-engenharia.pdf>
- Assis, P., Gilabert, P., & Figueira, R. (2018). Modelos BIM obtidos a partir do cálculo das especialidades do projeto de engenharia. In *2º Congresso Português de Building Information Modelling* [Simpósio]. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. <https://www.topinformatica.pt/artigos/modelos-bim-obtidos-a-partir-do-calculo-das-especialidades-do-projeto-de-engenharia.pdf>
- Beraldi, M. (2021, julho, 7). *Padrões BuildingSMART - Uma visão geral*. Estúdio BIM - Engenharia Digital BIM. <https://estudiobim.com.br/padroes-buildingsmart-uma-visao-geral/>
- BuildingSMART. (2023). *Building Information Modelling*. BuildingSMART Portugal. <https://buildingsmart.pt/o-que-e/>
- CYPE Ingenieros. (2023a). *Água, saneamento e instalações de gás*. CYPE. <https://info.cype.com/pt/solucoes/profissionais/agua-saneamento-e-instalacoes-de-gas/>
- CYPE Ingenieros. (2023b). *Interoperabilidade*. CYPE. <https://info.cype.com/pt/solucoes/profissionais/interoperabilidade/>
- CYPE Ingenieros. (2023c). *Open BIM Water Equipment*. CYPE. <https://info.cype.com/en/software/open-bim-water-equipment/>
- CYPECAD WaterSystems, C. (2023). *Critérios de Cálculo—Cálculo hidráulico*.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (1995). *Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto*. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-431873>
- Eastman, C. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*, 63.

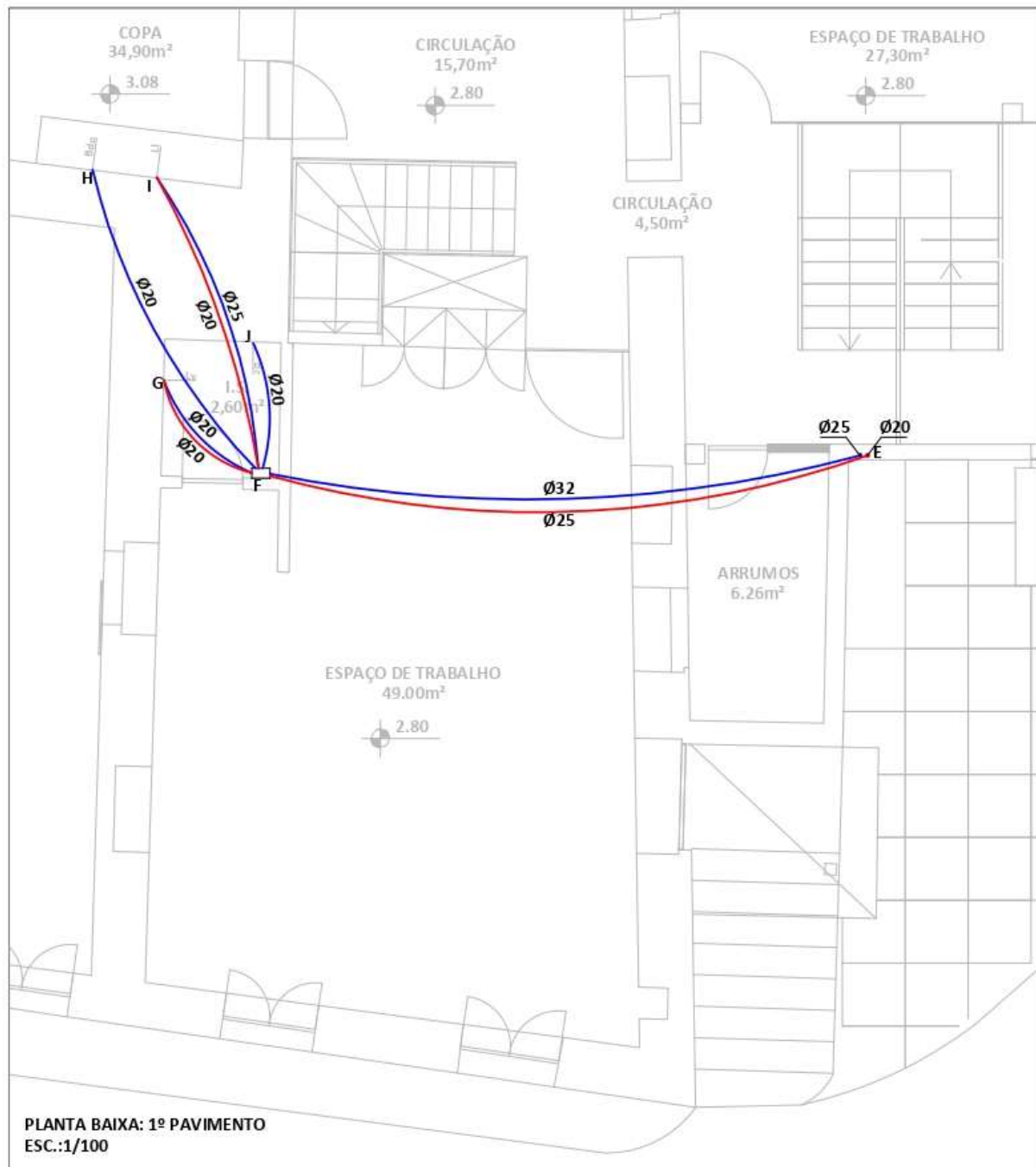
- Eastman, C. (Org.). (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed). John Wiley & Sons INC.
- Engelbart, D. C. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework | Research Recommendations*. SRI Summary Report AFOSR-3223. https://www.invisiblerevolution.net/engelbart/62_frset_research.html
- Freydel, S. A. (2022). *Desarrollo de proyecto de instalaciones mediante metodología BIM*. [Dissertação de mestrado, Universidad del País Vasco]. ADDI, Digital archive learning researching. <https://doi.org/10/56259>
- Graça, M. M. R. da. (2019). *Aplicação de processos BIM ao dimensionamento e representação de projetos de redes prediais de abastecimento de águas*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto]. Repositório aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/118924>
- GSA - Administração de Serviços Gerais dos EUA. (2022). *Modelagem de informações de construção 3D-4D*. <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/3d4d-building-information-modeling>
- Jiang, S., Jiang, L., Han, Y., Wu, Z., & Wang, N. (2019). OpenBIM: An Enabling Solution for Information Interoperability. *Applied Sciences*, 9(24), 5358. MDPI AG <https://doi.org/10.3390/app9245358>
- Khemlani, L. (2012). *Volta ao mundo com BIM*. *AECbytes*. <https://www.aecbytes.com/feature/2012/Global-BIM.html>
- Kiviniemi, A., Karlshøj, J., Tarandi, V., Bell, H., & Karud, O. J. (2008). Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM. *DTU Orbit*, 128. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/131997343/Untitled.pdf>
- LECMA - Leading Change in Construction Management. (2016). *CT197—Normalização BIM em Portugal*. <https://www.lecma.pt/single-post/2016/04/08/normalização-bim-em-portugal>
- Lima, F. V. G. A. (2022). *Dimensionamento do sistema predial de água fria: Desenvolvimento de plugin para Revit*. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Federal do Ceará. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/68706>
- McPartland, R. (2017). *What is an Information Delivery Manual (IDM)?*. NBS. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-an-information-delivery-manual-idm>
- Menezes, Gilda. (2011). Breve histórico de implantação da plataforma BIM. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*. 18. 152-171. <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2011v18n22p152>
- Pedroso, V. M. R. (2000). *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- ptBIM. (2023). *ptBIM – Congresso Português de ‘Building Information Modelling’ (BIM)*. <https://ptbim.org/>
- RIPORTICO. (2023). *Riportico—Engenharia | Avaliações Prediais*. Riportico - Engenharia | Avaliações Prediais. <http://www.reportico.com>
- Silva, P. (2015). *Redes prediais—Evolução, avaliação e perspetiva*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto]. Repositório aberto da Universidade do Porto. <https://core.ac.uk/download/pdf/143390268.pdf>

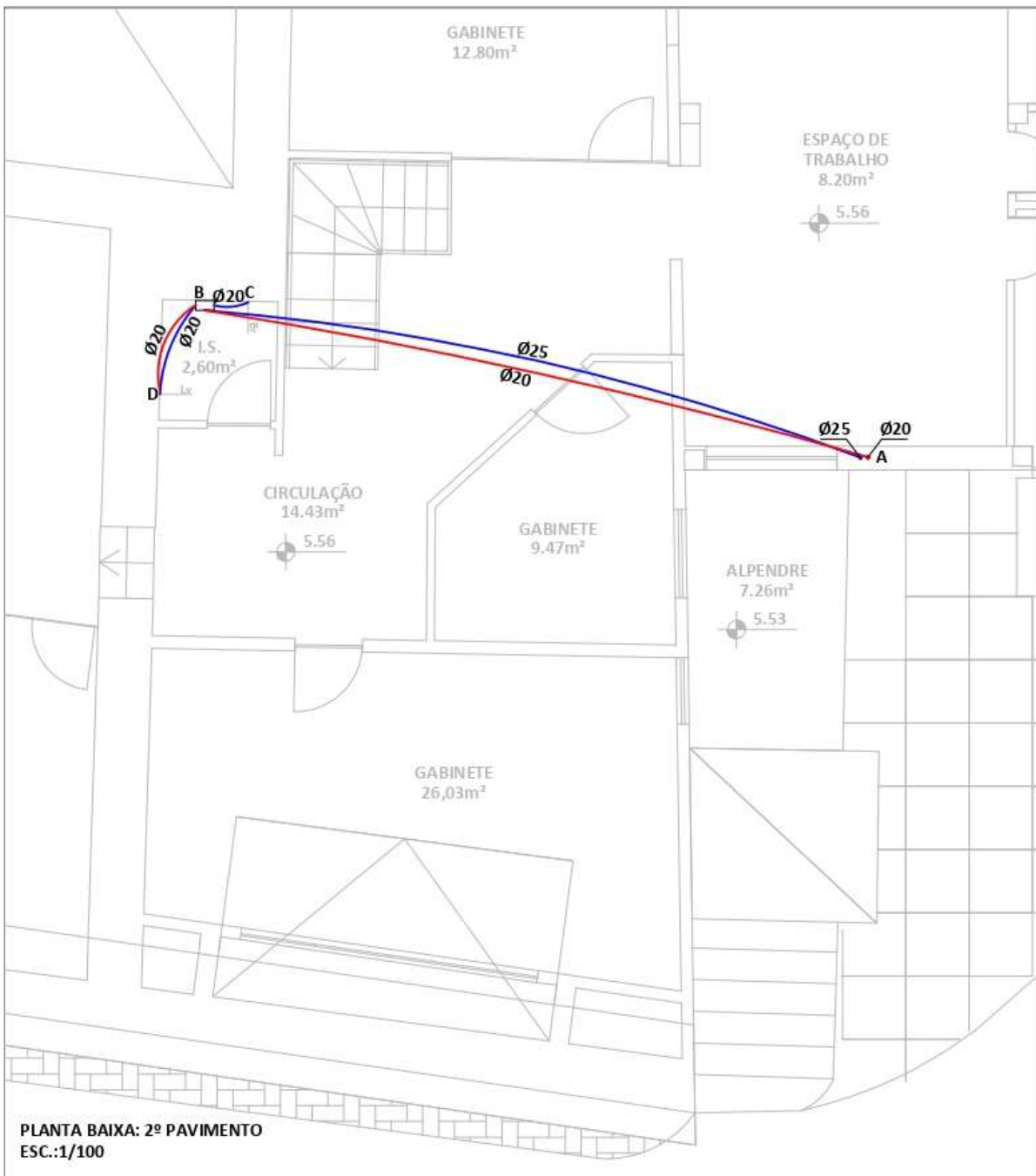
Venâncio, M. J. L. (2015). *Avaliação da implementação de BIM -building information modeling em Portugal*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto]. Repositório aberto da Universidade do Porto. file:///C:/Users/User/Downloads/35432%20(1).pdf

ANEXOS

6. ANEXO A

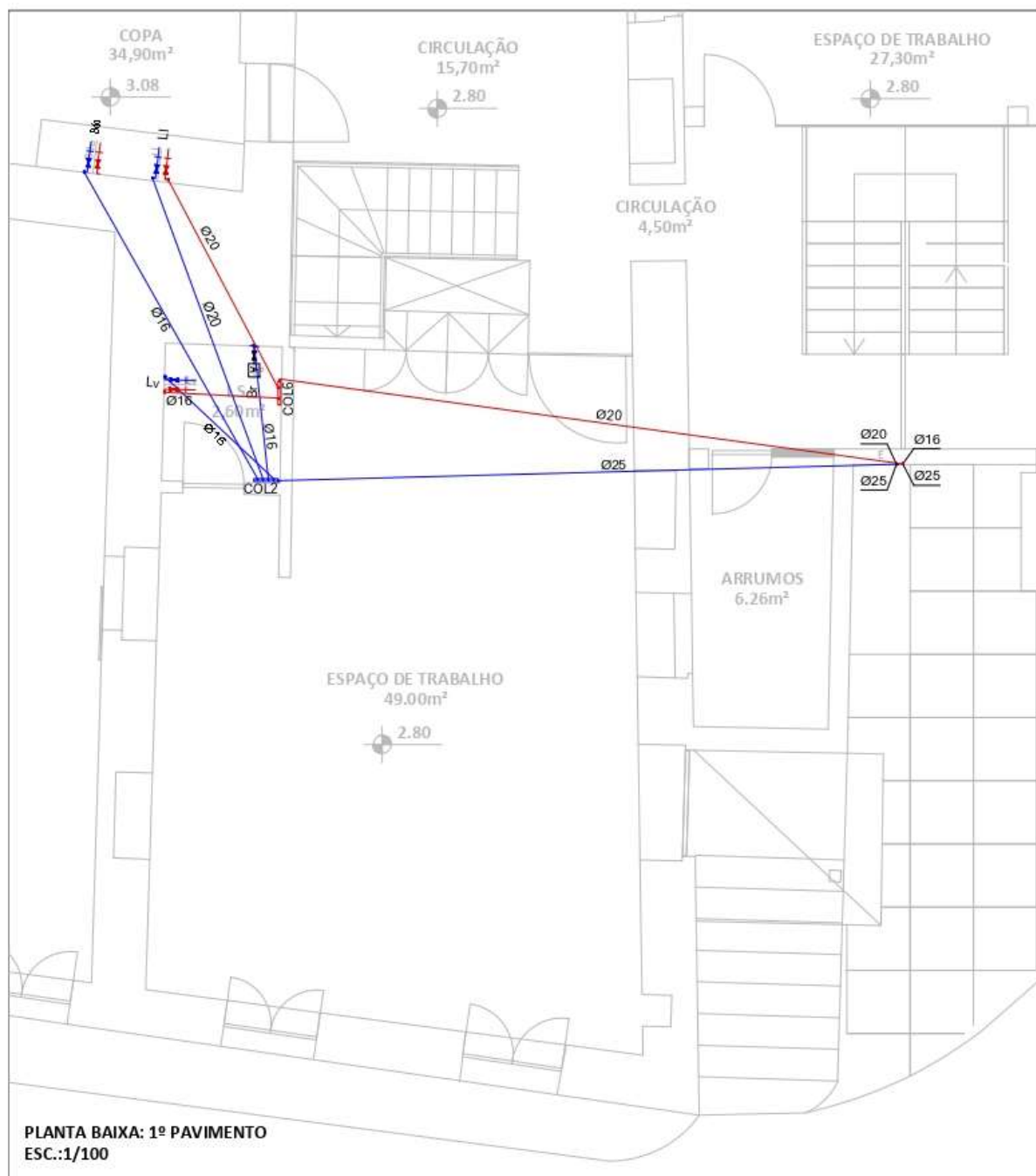
Resultado do dimensionamento da rede de abastecimento de água pelo método tradicional do 1º e 2º pavimento.

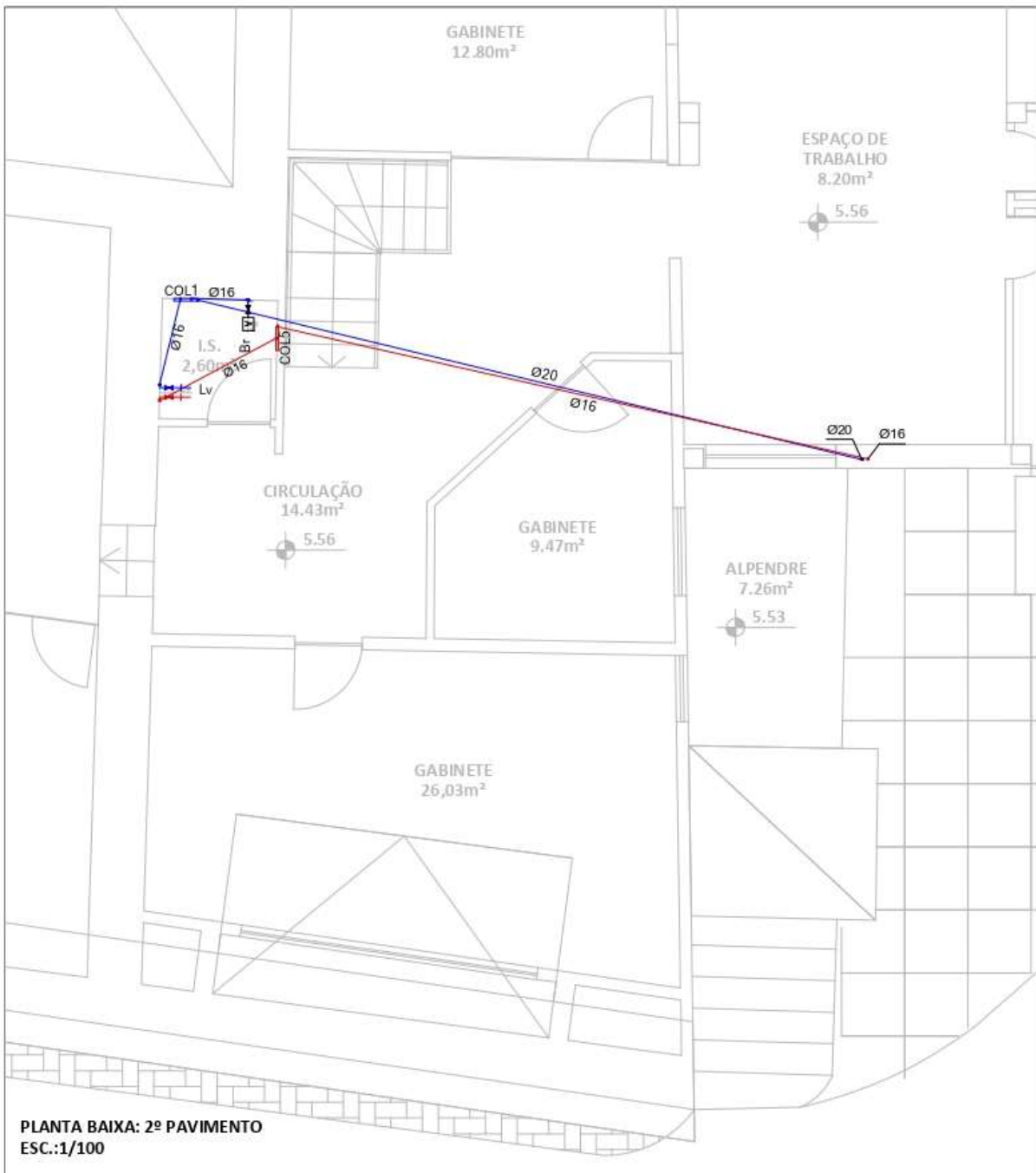




7. ANEXO B

Resultado do dimensionamento da rede de abastecimento de água pelo CYPE do 1º e 2º pavimento.



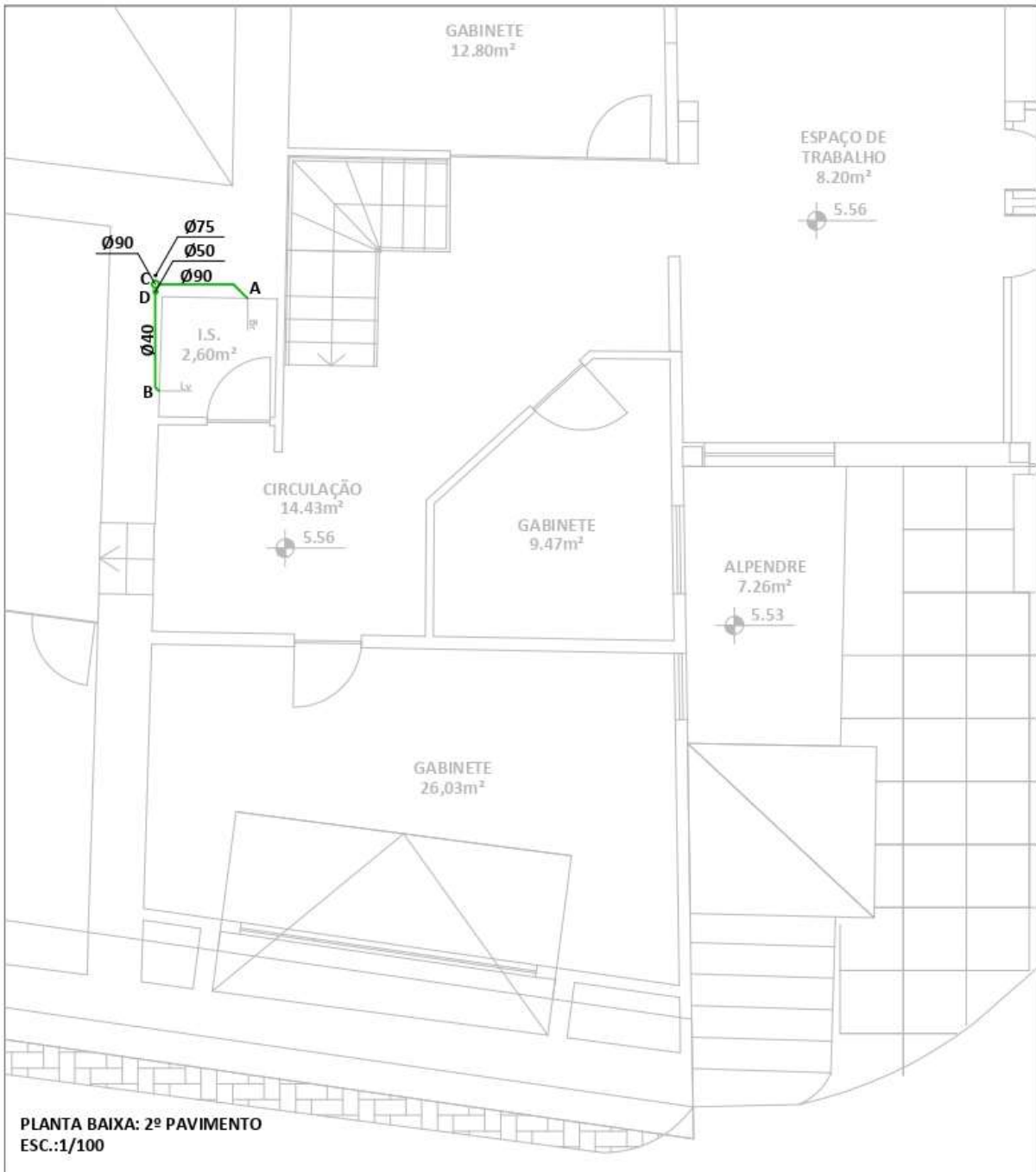


PLANTA BAIXA: 2º PAVIMENTO
ESC.:1/100

8. ANEXO C

Resultado do dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais pelo método tradicional do 1º e 2º pavimento.





9. ANEXO D

Resultado do dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais pelo CYPE do 1º e 2º pavimento.



