

# **Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista: Modelos de representação tridimensional**

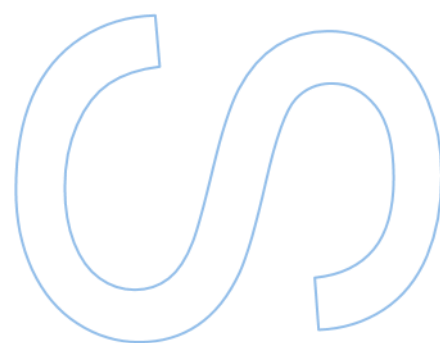
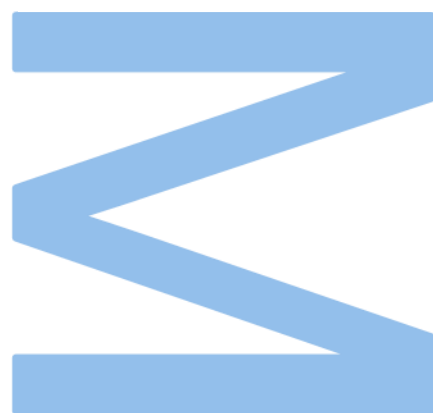
**Ana Cecília Gonçalves Tavares**

Mestrado em Arquitetura Paisagista

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2025



# **Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista: Modelos de representação tridimensional**

**Ana Cecília Gonçalves Tavares**

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em  
Arquitetura Paisagista  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2025

**Orientador**

José Miguel Esteves Lameiras, Professor Auxiliar, Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

**Supervisor externo na Entidade de Acolhimento**

Carlos Dias, Arquiteto Paisagista, LJ-Group

**LJ-Group**  
landscape architecture

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero expressar a minha mais profunda gratidão aos meus pais, que sempre fizeram tudo para que eu pudesse chegar até aqui, e ao meu irmão, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, oferecendo apoio incondicional. Agradeço também ao restante da minha família próxima, pela presença e incentivo constantes.

Um agradecimento muito especial ao Carlos Dias, à Mariana Sardoeira e à Marta Marinho, do atelier LJ Group, onde realizei o meu estágio curricular. A oportunidade de trabalhar convosco foi fundamental para o meu crescimento. As dúvidas foram muitas, mas a vossa paciência e disponibilidade para me orientar e esclarecer cada passo fizeram toda a diferença, permitindo-me desenvolver competências e ganhar segurança naquilo que fazia. Ao longo dos seis meses de estágio senti que evolui mais do que em vários anos de percurso académico, e isso devo-o ao ambiente de partilha e aprendizagem que me proporcionaram.

Ao Professor José Lameiras, agradeço pela orientação e pelo apoio no desenvolvimento deste relatório. A sua experiência e as suas orientações foram decisivas para transformar um tema no qual inicialmente não me sentia totalmente confiante numa oportunidade de exploração académica enriquecedora, que acabou por revelar-se muito mais interessante e estimulante do que alguma vez imaginei.

Quero ainda agradecer aos meus amigos e colegas de faculdade, em especial ao grupo do Berlengada. Foram cinco anos que se tornaram muito mais leves graças a vocês: pelas noites de diretas passadas no DCC, que tornaram suportáveis, e por todos os momentos de amizade e companheirismo que guardo com enorme carinho.

Aos meus amigos de infância, um obrigado sentido por nunca deixarem de estar presentes, mesmo quando a minha ausência foi maior do que gostaria. A vossa constância deu-me sempre conforto e segurança.

E, por último, mas de forma muito especial, ao Luís Castro. Obrigada por seres o melhor companheiro, amigo e conselheiro que podia pedir. A tua presença ao longo destes anos foi fundamental para que esta caminhada fosse não só possível, mas também muito mais feliz.

# Resumo

Este relatório investiga o papel da modelação tridimensional (3D) na fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista, através do caso de estudo GAIA HILLS – Lote Parque Verde. O trabalho combina revisão de literatura, análise crítica e aplicação prática, com o objetivo de compreender como o 3D pode apoiar a comunicação técnica entre projetista e construtor e superar limitações da representação bidimensional (2D).

A investigação identifica as fragilidades do 2D, nomeadamente a dificuldade em representar relações espaciais complexas, a abstração excessiva de solos, vegetação e topografia, e a omissão de camadas construtivas. Neste contexto, explora-se a modelação 3D como recurso técnico, distinguindo a abordagem por superfícies e por sólidos, e avaliando a sua capacidade de traduzir espessuras, volumetrias e articulações construtivas com maior rigor.

O caso de estudo permitiu desenvolver modelos tridimensionais de pormenores representativos — bacias de retenção, pavimentos e transições, muros, *decks*, escadas e zonas de plantação — que evidenciam a clareza do 3D na comunicação de soluções técnicas. Esta abordagem revelou-se não apenas útil para a visualização, mas sobretudo para a instrução da execução em obra, reduzindo ambiguidades e erros de interpretação.

Conclui-se que a modelação tridimensional deve ser entendida como uma verdadeira linguagem técnica em Arquitetura Paisagista, capaz de reforçar a precisão e a eficiência dos processos construtivos, ao mesmo tempo que aproxima a disciplina da lógica do *Building Information Modeling* (BIM) e da integração digital futura.

Palavras-chave: Pormenorização construtiva, Arquitetura Paisagista, Modelação 3D, Representação tridimensional, Comunicação técnica, BIM

# Abstract

This dissertation explores the role of three-dimensional (3D) modelling in the construction detailing phase of Landscape Architecture, through the case study GAIA HILLS – Green Park Lot, fully developed by the author during her internship at the LJ-Group studio. The research combines literature review, critical analysis, and practical application, aiming to understand how 3D can support technical communication between designer and constructor and overcome the limitations of two-dimensional (2D) representation.

The study highlights the weaknesses of 2D drawings, such as difficulties in representing complex spatial relations, the excessive abstraction of soils, vegetation, and topography, and the omission of constructive layers. In this context, 3D modelling is analysed as a technical resource, distinguishing between surface-based and solid-based approaches and assessing their ability to convey thicknesses, volumes, and constructive articulations with greater accuracy.

The case study enabled the development of three-dimensional models of representative details — including retention basins, pavements and transitions, walls, decks, stairs, and plantations — which demonstrate the clarity of 3D in communicating technical solutions. This approach proved to be valuable not only for visualization but especially as a tool for construction instruction, reducing ambiguities and misinterpretations.

It is concluded that three-dimensional modelling should be regarded as a true technical language in Landscape Architecture, strengthening the precision and efficiency of construction processes, while also aligning the discipline with the logic of Building Information Modeling (BIM) and future digital integration.

**Keywords:** Construction detailing, Landscape Architecture, 3D modelling, Three-dimensional representation, Technical communication, BIM

# Índice

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lista de Tabelas .....                                                                                                   | 6  |
| Lista de Figuras .....                                                                                                   | 7  |
| 1. Introdução.....                                                                                                       | 9  |
| 1.1. Problemática .....                                                                                                  | 10 |
| 1.2. Objetivos .....                                                                                                     | 11 |
| 1.3. Metodologia.....                                                                                                    | 11 |
| 2. Enquadramento Teórico .....                                                                                           | 13 |
| 2.1. A evolução das tecnologias de representação em Arquitetura Paisagista ...                                           | 13 |
| 2.2. A fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista .....                                                | 15 |
| 2.3. Representações planimétricas (2D) vs representações tridimensionais (3D):<br>oportunidades e desafios .....         | 18 |
| 2.4. Superfícies vs sólidos na modelação tridimensional .....                                                            | 21 |
| 2.5. Representação de realidades vivas: solos, vegetação e topografia .....                                              | 24 |
| 2.6. Representação de realidades construídas: muros, pavimentos, estruturas .                                            | 26 |
| 3. Caso de Estudo: GAIA HILLS – Lote Parque Verde, Vila Nova de Gaia .....                                               | 29 |
| 3.1. Enquadramento do projeto .....                                                                                      | 29 |
| 3.2. Proposta.....                                                                                                       | 31 |
| 3.3. Oportunidades, desafios e objetivos do projeto .....                                                                | 33 |
| 4. Caso de Estudo: Pormenorização Construtiva.....                                                                       | 34 |
| 4.1. Identificação e elaboração das necessidades de pormenorização construtiva:<br>seleção de elementos relevantes ..... | 34 |
| 4.1.1. Bacias de retenção .....                                                                                          | 36 |
| 4.1.2. Pavimentos e soluções construtivas: pavimentos e transições .....                                                 | 38 |
| 4.1.3. Relações entre pavimentos e zonas verdes.....                                                                     | 43 |
| 4.1.4. Estruturas construídas e elementos técnicos .....                                                                 | 45 |
| 4.1.5. <i>Decks</i> .....                                                                                                | 48 |
| 4.1.6. Zonas verdes e plantações .....                                                                                   | 50 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 5. Discussão .....               | 54 |
| Conclusão.....                   | 57 |
| Referências Bibliográficas ..... | 59 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Síntese comparativa das limitações e potencialidades das representações 2D e 3D, respetivamente, na comunicação projetista-construtor/cliente.....                       | 21 |
| Tabela 2- Síntese comparativa entre modelação por superfícies ou modelação por sólidos aplicados à Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista.....                       | 24 |
| Tabela 3- Síntese dos desafios da representação 3D e soluções propostas na representação de vegetação, solos e topografia em Arquitetura Paisagista. ....                          | 26 |
| Tabela 4- Síntese comparativa entre representação bidimensional e tridimensional de realidades construídas, aplicados à Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista. .... | 28 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Esquema da metodologia seguida no desenvolvimento do trabalho .....                                                                                                          | 12 |
| Figura 2- As cinco eras e três épocas da Arquitetura Paisagista Digital. (adaptado de Ervin, 2020). .....                                                                              | 13 |
| Figura 3- Exemplos de diferentes métodos de modelação digital do terreno: malha regular, NURBS e TIN, respetivamente (adaptado de Lameiras, 2018). .....                               | 15 |
| Figura 4- Transição de representação 2D para visualização 3D, destacando a clareza comunicativa do modelo tridimensional (adaptado de Bouchlaghem et al., 2005). .....                 | 16 |
| Figura 5- Representação tridimensional de um muro construída com base em parâmetros técnicos, exemplo de instrução clara para obra (adaptado de Lameiras, 2018). .....                 | 17 |
| Figura 6- Exemplo de visualização tridimensional em ArcScene, ilustrando a clareza espacial face às limitações da representação 2D (adaptado de Jaalama et al., 2015). .....           | 18 |
| Figura 7- Comparação entre representação bidimensional (curvas de nível) e tridimensional (linhas 3D) na modelação do terreno (adaptado de Lameiras, 2018). ..                         | 20 |
| Figura 8- Comparação entre a modelação do terreno por superfícies digitais e por sólidos com espessura (inspirado de Lameiras, 2018). .....                                            | 22 |
| Figura 9- Fotografia aérea da área de intervenção   Google Earth. ....                                                                                                                 | 29 |
| Figura 10- Localização do Corte AA' da topografia existente .....                                                                                                                      | 30 |
| Figura 11- Corte AA' da topografia existente .....                                                                                                                                     | 30 |
| Figura 12- Plano Geral da Proposta para o projeto GAIA HILLS Lote Parque Verde ..                                                                                                      | 31 |
| Figura 13- Localização do Corte AA' da topografia Proposta .....                                                                                                                       | 32 |
| Figura 14- Corte AA' da topografia proposta .....                                                                                                                                      | 32 |
| Figura 15- Identificação das necessidades de Pormenorização Construtiva .....                                                                                                          | 35 |
| Figura 16- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo da Bacia de Retenção. ....                                                                                 | 36 |
| Figura 17- Pormenor Construtivo de Bacia de Retenção, desenvolvido com base em detalhe publicado em <i>Constructive Landscape: Materials, Techniques, Structural Components</i> . .... | 37 |
| Figura 18- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento em cubos de granito. ....                                                                     | 38 |
| Figura 19- Pormenor Construtivo de Pavimento em cubos de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group. ....                                               | 39 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento Reforçado em cubos de granito. ....                                                                                                                                                                          | 40 |
| Figura 21- Pormenor Construtivo de Pavimento Reforçado em cubos de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.....                                                                                                                                                     | 40 |
| Figura 22- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento de Lajetas irregulares de granito. ....                                                                                                                                                                      | 41 |
| Figura 23- Pormenor Construtivo do Pavimento de Lajetas irregulares de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.....                                                                                                                                                 | 42 |
| Figura 24- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de transição entre Pavimento em cubos de granito e Área Verde.....                                                                                                                                                        | 43 |
| Figura 25- Pormenor Construtivo de transição entre Pavimento em cubos de granito e Área Verde, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group. ....                                                                                                                                 | 44 |
| Figura 26- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Muro em alvenaria de granito. ....                                                                                                                                                                                     | 45 |
| Figura 27- Pormenor Construtivo de Muro em alvenaria de granito, desenvolvido com base no documento do projeto do Parque Verdeal e Observatório Astronómico Professor Manuel de Barros (Biodiv.city, Autores: Paulo Farinha Marques, Cláudia Oliveira Fernandes, Jorge Barbosa e Natália Bruno). .... | 46 |
| Figura 28- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Escadas em betão. ....                                                                                                                                                                                                 | 47 |
| Figura 29- Pormenor Construtivo de Escadas em betão, desenvolvido com base no documento do projeto do Parque Verdeal (Biodiv.city, Autores: Paulo Farinha Marques, José Miguel Lameiras e Manuel Gentil Rebelo (2019)). ....                                                                          | 47 |
| Figura 30- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Passadiço em Madeira. ....                                                                                                                                                                                             | 49 |
| Figura 31- Pormenor Construtivo de Passadiço de Madeira, desenvolvido com base em detalhe publicado em <i>Constructive Landscape: Materials, Techniques, Structural Components</i> . ....                                                                                                             | 49 |
| Figura 32- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Caldeira com tutoragem.....                                                                                                                                                                                            | 51 |
| Figura 33- Pormenor Construtivo de Caldeira com tutoragem, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.....                                                                                                                                                                      | 51 |
| Figura 34- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Área Verde com arbustos resistentes à inclinação do terreno. ....                                                                                                                                                      | 52 |
| Figura 35- Pormenor Construtivo de Área Verde com arbustos resistentes à inclinação do terreno, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.....                                                                                                                                 | 53 |

# 1. Introdução

Nos últimos anos, a Arquitetura Paisagista tem assistido a uma evolução tecnológica no domínio da representação gráfica, incorporando ferramentas digitais que permitem conceber, visualizar e comunicar projetos de forma cada vez mais eficaz. A introdução do desenho assistido por computador, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e, mais recentemente, das tecnologias tridimensionais, transformou profundamente os modos de conceção e comunicação gráfica. Estas ferramentas oferecem novas formas de explorar a paisagem e de transmitir propostas, ampliando as possibilidades de interação entre projetistas, clientes e entidades externas.

Apesar destes avanços, a utilização do tridimensional tem estado maioritariamente associada às fases iniciais do processo de projeto, como a conceção conceptual ou a comunicação de ideias a públicos não técnicos. Na fase de pormenorização construtiva — aquela que estabelece as instruções técnicas necessárias à execução em obra — a adoção de ferramentas tridimensionais é ainda pouco explorada. A sua aplicação neste contexto poderá revelar um contributo significativo para resolver limitações da representação bidimensional e reforçar a clareza do processo construtivo.

A motivação pessoal para esta investigação nasceu precisamente da experiência direta com estas limitações. Ao longo do meu percurso académico e principalmente no estágio, percebi como o desenho bidimensional, com plantas, cortes e alçados, muitas vezes se revela insuficiente para comunicar a complexidade dos elementos paisagísticos. Questões como a articulação entre solos, pavimentos, vegetação ou sistemas de drenagem tornam-se difíceis de interpretar no plano abstrato do 2D, originando dúvidas na execução em obra. Por contraste, sempre identifiquei no tridimensional — sobretudo através de ferramentas como o *SketchUp* — um enorme potencial para traduzir com maior rigor e clareza essas mesmas relações.

Além de comunicar melhor entre projetistas, clientes, cidadãos e construtores, o 3D revelou-se também um recurso valioso para quantificar materiais e volumes, otimizando a elaboração de mapas de trabalhos e cadernos de encargos. Esta percepção pessoal reforçou a convicção de que os modelos tridimensionais podem ir muito além de um instrumento de visualização estética: constituem uma verdadeira linguagem técnica, capaz de reduzir ambiguidades, evitar erros construtivos e contribuir para maior durabilidade e eficiência das soluções projetadas.

Este estudo demonstra, assim, a necessidade de refletir sobre os desafios da comunicação técnica em Arquitetura Paisagista e de explorar o potencial do 3D como recurso para maior precisão, clareza e eficiência nas instruções passadas para a obra.

## 1.1. Problemática

A pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista caracteriza-se por uma elevada complexidade, resultante da necessidade de integrar elementos construídos (pavimentos, muros, *decks*, bacias de retenção) com realidades vivas, como solos, vegetação e topografia. A tradução rigorosa destas condições é essencial para evitar ambiguidades, erros de interpretação e perdas de informação entre projetista e construtor. Contudo, as representações convencionais em 2D revelam limitações na comunicação da materialidade, das articulações entre camadas e da dinâmica ecológica que caracteriza os sistemas vivos.

As tecnologias tridimensionais, têm vindo a mostrar grande potencial na comunicação técnica em áreas como a engenharia e a arquitetura, permitindo transformar geometrias em suportes versáteis de documentação, ilustração e interação. Ainda assim, no campo da Arquitetura Paisagista, a sua aplicação à fase construtiva é escassa. Esta lacuna torna-se particularmente crítica quando se considera a necessidade de representar elementos vivos com comportamento variável ao longo do tempo, como o crescimento vegetal ou a alteração das condições do solo (Van Dooren & Nielsen, 2019).

Deste modo, coloca-se a seguinte questão central de investigação: como representar tridimensionalmente, de forma clara e técnica, as realidades vivas e construídas — como solos, vegetação, topografia e materiais — de modo a facilitar a comunicação entre o projetista e quem executa a obra?

## 1.2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo passa por investigar e testar o potencial da representação 3D na fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista, com foco na clareza e eficácia da comunicação técnica entre o projetista e o construtor.

Onde a partir do caso de estudo serão identificados os elementos críticos da pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista que apresentam desafios na representação técnica. Serão analisados os limites da representação 2D na comunicação entre projeto e obra, explorando e desenvolvendo modelos 3D de pormenorização construtiva aplicáveis à prática profissional. E, ainda será avaliado o impacto da representação tridimensional na clareza das instruções técnicas, resultando numa possível proposta de orientações para a integração eficaz do 3D no diálogo técnico em projetos paisagistas.

## 1.3. Metodologia

A investigação seguirá uma abordagem qualitativa, baseada na articulação entre revisão de literatura, análise crítica e aplicação prática. Numa primeira fase, será desenvolvido um enquadramento teórico que explore os conceitos e debates em torno da representação bidimensional e tridimensional em Arquitetura Paisagista, bem como os desafios específicos da pormenorização construtiva.

Numa segunda fase, será conduzido um caso de estudo de autoria integral da autora, realizado no âmbito do estágio curricular no atelier LJ-Group. Ao longo deste período, a autora acompanhou todas as fases do projeto GAIA HILLS – Lote Parque Verde, desde a análise da área de intervenção até à definição de soluções técnicas e construtivas. Foram trabalhados aspetos como o estudo da topografia, a elaboração de cortes e perfis, a seleção de espécies autóctones e o controlo de invasoras, o desenvolvimento de um plano de plantação, bem como a conceção de percursos, zonas de estadia e pormenores construtivos. Esta experiência prática permitiu consolidar competências em conceção e, sobretudo, compreender a importância das peças técnicas como suporte essencial para a execução em obra.

Com base neste projeto, serão identificados elementos críticos de pormenorização e desenvolvidos modelos tridimensionais de pormenores construtivos. Posteriormente, será conduzida uma reflexão crítica, comparando as soluções 3D com os métodos tradicionais em 2D, de modo a avaliar vantagens, limitações e potencial de aplicação. Por fim, serão sistematizadas orientações para a integração do 3D como

ferramenta de apoio à comunicação técnica entre projetistas, clientes, cidadãos e construtores.

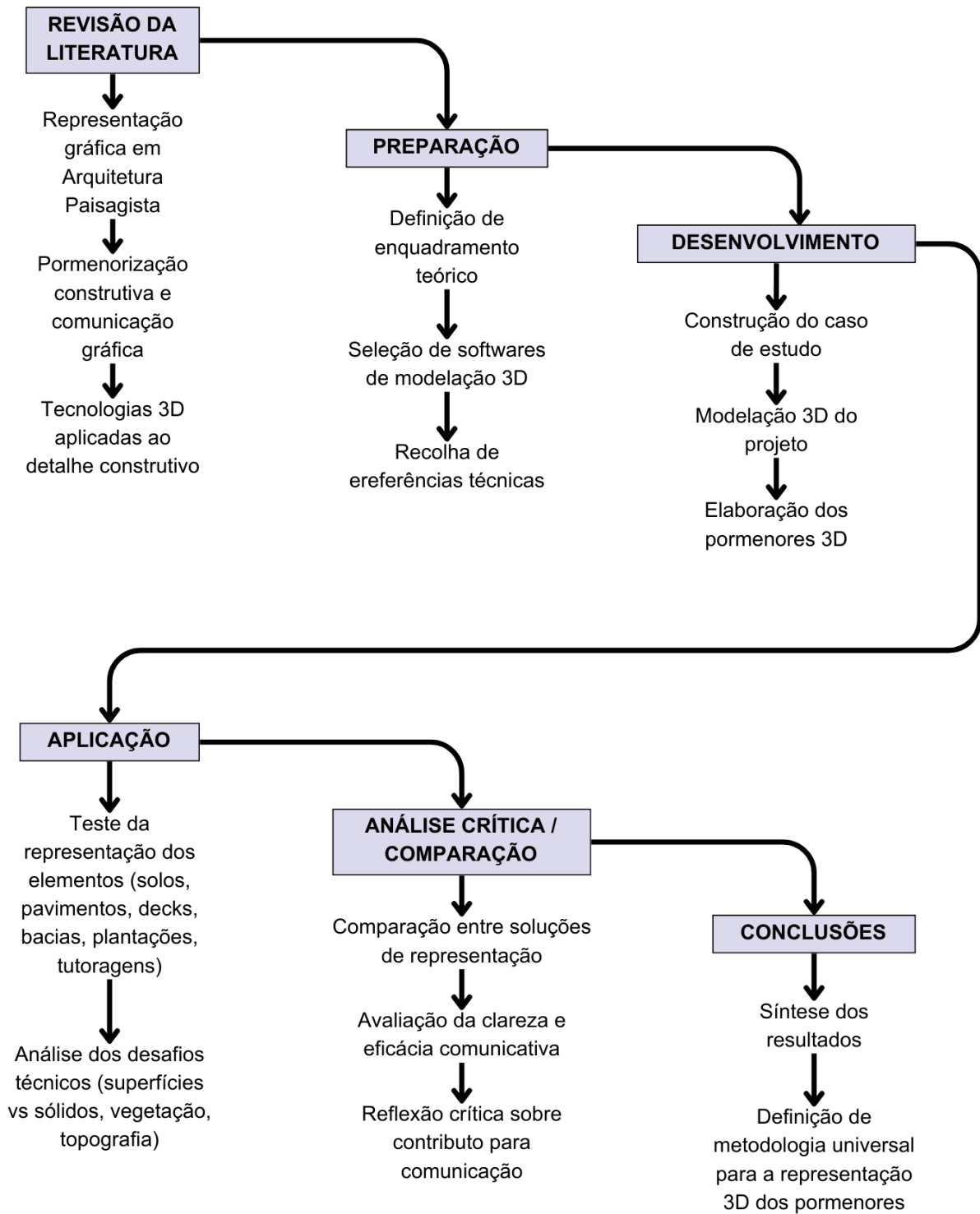


Figura 1- Esquema da metodologia seguida no desenvolvimento do trabalho

## 2. Enquadramento Teórico

### 2.1. A evolução das tecnologias de representação em Arquitetura Paisagista

A representação gráfica sempre desempenhou um papel central na prática da Arquitetura Paisagista, funcionando como a principal linguagem de comunicação entre projetistas, clientes e equipas de obra. Durante séculos, essa representação foi realizada através do desenho manual, capaz de transmitir intenções conceptuais e soluções espaciais com forte valor estético, mas limitado na precisão técnica e na capacidade de antecipar a execução em obra.

A segunda metade do século XX trouxe uma transformação gradual com o aparecimento do CAD (*Computer-Aided Design*), que permitiu ganhos significativos em termos de normalização, rigor e eficiência. Softwares como o *AutoCAD* tornaram-se rapidamente ferramentas de base, reforçando o carácter técnico da representação e aproximando-a de uma lógica de produção mais padronizada.

O avanço seguinte ocorreu com a democratização da informática e da modelação digital tridimensional. Programas como *SketchUp*, *Rhino* e *Revit*, aliados a motores de renderização realista (*Lumion*, *Twinmotion*, *V-Ray*), ampliaram a capacidade de visualização, permitindo representar formas complexas, simular cenários e comunicar ideias de modo mais apelativo e acessível. Esta evolução inseriu a Arquitetura Paisagista naquilo que Ervin (2020) designa como a era do *digital landscape architecture*, marcada pela transição do desenho manual para sistemas digitais capazes de integrar análise, conceção e comunicação.

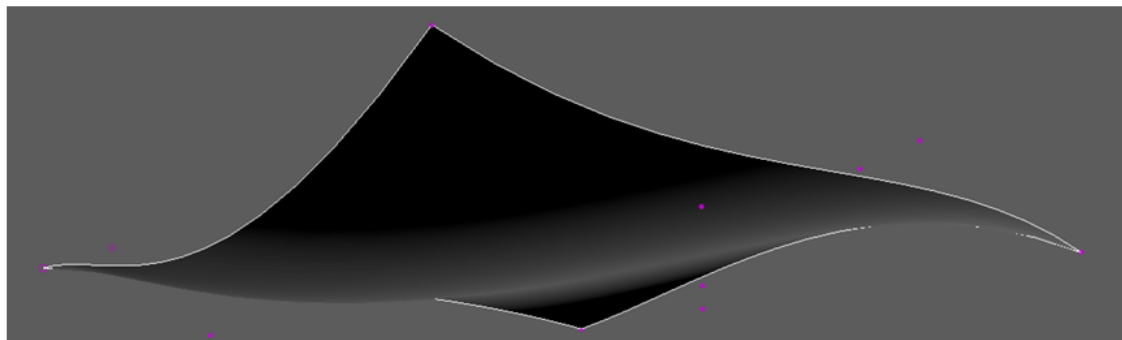
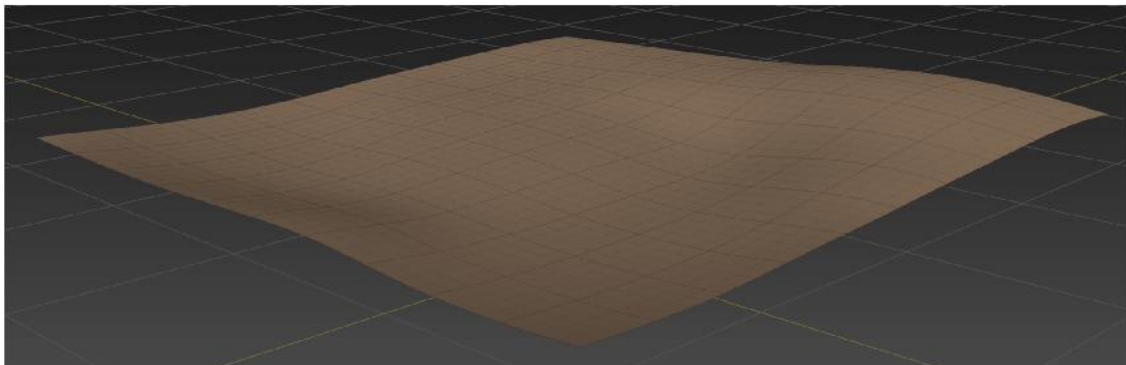
| Era:             | Pre – 1950   | 1950-1977                                                                                      | 1978-1990       | 1991-2006              | 2007 – present       | Future                                |
|------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Technologies:    | Pre-digital  | Early computation                                                                              | Micro-computers | Internet & Fabrication | Ubiquitous computing | Enormous Data, Cyber-Physical Systems |
| Landscape Epoch: | 'Olmstedian' | 'Post-Olmstedian': digitally-enabled representation & construction; digital landscape features |                 |                        |                      | Bionic Landscapes                     |

Figura 2- As cinco eras e três épocas da Arquitetura Paisagista Digital. (adaptado de Ervin, 2020).

Paralelamente, o desenvolvimento de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e, mais recentemente, a disseminação de abordagens como o BIM (*Building Information Modeling*), começaram a abrir novas possibilidades de integração entre dados espaciais, processos de projeto e simulação. Nessel (2013) sublinha que, apesar de arquitetos e engenheiros terem já incorporado o BIM de forma consolidada, a Arquitetura Paisagista ainda revela resistências na adoção de modelos de informação integrados, correndo o risco de marginalização no setor se não acompanhar esta transição.

No contexto europeu, estas transformações tecnológicas alinham-se também com as orientações da Convenção Europeia da Paisagem, que incentiva a análise, gestão e planeamento de todas as paisagens – quotidianas, degradadas ou de excecional valor – promovendo a necessidade de ferramentas digitais capazes de articular dimensões ecológicas, culturais e sociais (Ziemeļniece, 2016).

Importa destacar que a modelação digital do terreno (MDT) constituiu um marco fundamental nesta evolução, ao permitir superar algumas limitações da representação 2D. Como refere Lameiras (2018), enquanto as curvas de nível exigem um elevado grau de abstração, os modelos digitais tridimensionais oferecem uma aproximação mais direta à forma real da paisagem, reduzindo ambiguidades e melhorando a comunicação entre conceção e execução.



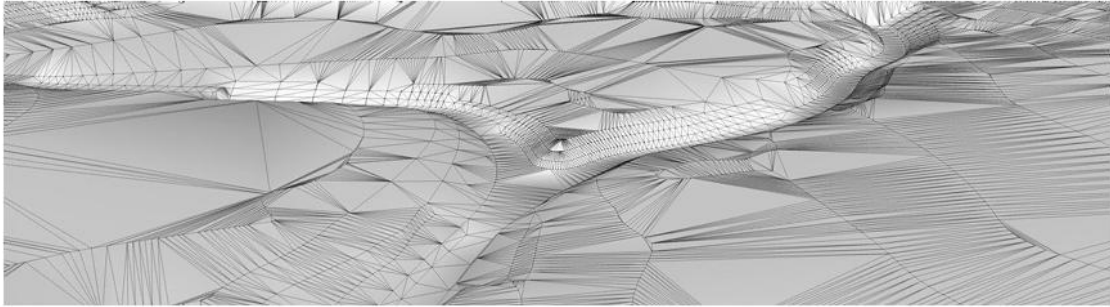


Figura 3- Exemplos de diferentes métodos de modelação digital do terreno: malha regular, NURBS e TIN, respetivamente (adaptado de Lameiras, 2018).

Para o autor, esta passagem do 2D para o 3D é também uma oportunidade para a Arquitetura Paisagista se aproximar das práticas já correntes na engenharia e no BIM.

Hoje, a representação tridimensional não é apenas um recurso estético ou comunicacional: é também uma ferramenta com potencial técnico para a pormenorização construtiva. A sua evolução histórica demonstra uma progressiva passagem do desenho artístico para sistemas digitais complexos, preparados para lidar com a crescente complexidade dos projetos paisagistas e com as exigências de comunicação rigorosa entre as várias fases do processo de projeto.

## 2.2. A fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista

A fase de pormenorização construtiva constitui uma etapa crucial na materialização dos projetos de Arquitetura Paisagista, na medida em que traduz conceitos em instruções concretas de execução. É neste momento que se definem com rigor materiais, espessuras, cotas, uniões, sistemas de fixação e camadas construtivas, estabelecendo uma ponte entre o pensamento conceptual e a realidade construída.

Para além da sua função técnica, esta etapa distingue-se pela complexidade que envolve, dado que integra tanto elementos inertes (estruturas, pavimentos, sistemas de drenagem) como realidades vivas (solos, vegetação, dinâmicas hidrológicas). Como refere Gazvoda (2002), a Arquitetura Paisagista diferencia-se de outras disciplinas pela capacidade de conciliar criatividade artística com exigência científica, alternando entre detalhes concretos e interações mais amplas da paisagem. Assim, a pormenorização não deve ser entendida apenas como uma questão de detalhe técnico, mas como um exercício de síntese interdisciplinar.

A clareza da comunicação visual é determinante nesta fase. Representações que não sejam suficientemente explícitas podem originar erros, ambiguidades ou interpretações divergentes em obra, com consequências diretas para a qualidade final do espaço construído. Nesse sentido, ferramentas digitais de visualização vieram trazer novas possibilidades: modelos tridimensionais permitem antecipar problemas de execução, verificar compatibilidades entre sistemas e comunicar de forma mais intuitiva com equipas de obra. Estudos no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção demonstram que a visualização 3D pode apoiar não apenas a comunicação entre projetistas e clientes, mas também a interpretação de detalhes técnicos por parte dos operários em obra (Bouchlaghem, Shang, Whyte, & Ganah, 2005).

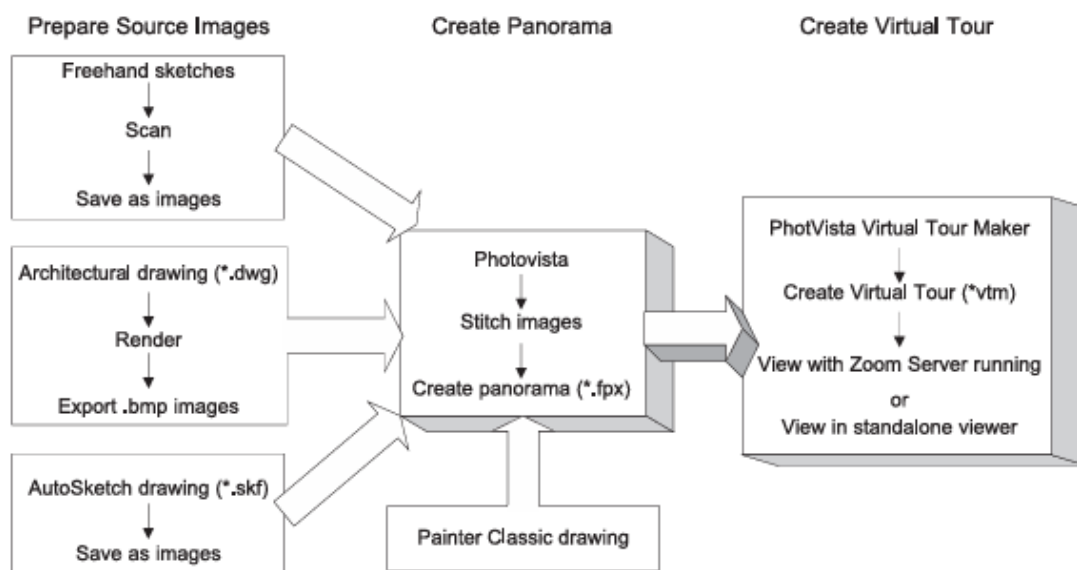


Figura 4- Transição de representação 2D para visualização 3D, destacando a clareza comunicativa do modelo tridimensional (adaptado de Bouchlaghem et al., 2005).

Mais recentemente, têm surgido aplicações de CAD 3D paramétrico e de simulações virtuais especificamente orientadas para a Arquitetura Paisagista. Zhao (2021) evidencia que o uso de CAD tridimensional permite organizar de forma hierárquica os detalhes construtivos, otimizando a representação de elementos complexos como vegetação, solos e estruturas, e garantindo maior correlação entre desenho e realidade construída. Estes sistemas possibilitam ainda a visualização dinâmica de diferentes fases construtivas, favorecendo uma compreensão mais integrada do processo.

Paralelamente, a literatura sobre planeamento e visualização do território tem sublinhado que a clareza gráfica é essencial para comunicar tanto com especialistas como com o público. Lehmkuhler (2001) destaca que a representação visual, sobretudo

quando incorpora a terceira dimensão, contribui para reduzir ambiguidades na comunicação técnica e participativa. Do mesmo modo, Knight e Therivel (2020) sublinham que a avaliação visual da paisagem depende não apenas de critérios técnicos, mas também da percepção social e cultural dos intervenientes, o que reforça a importância da comunicação clara e multissensorial.

A tese de Lameiras (2018) reforça este entendimento, ao evidenciar que a pormenorização construtiva em 3D permite ultrapassar uma das maiores limitações do 2D: a abstração excessiva. O autor demonstra que detalhes representados apenas em planta ou corte podem omitir relações críticas entre elementos construtivos, enquanto a modelação tridimensional permite visualizar e comunicar essas interações de forma direta e rigorosa. Além disso, defende que a transição para modelos digitais sólidos, em vez de superfícies finas, é determinante para instruir corretamente camadas de solo, fundações e sistemas construtivos. Neste sentido, a pormenorização em 3D não deve ser vista apenas como complemento estético, mas como ferramenta de instrução essencial à execução.

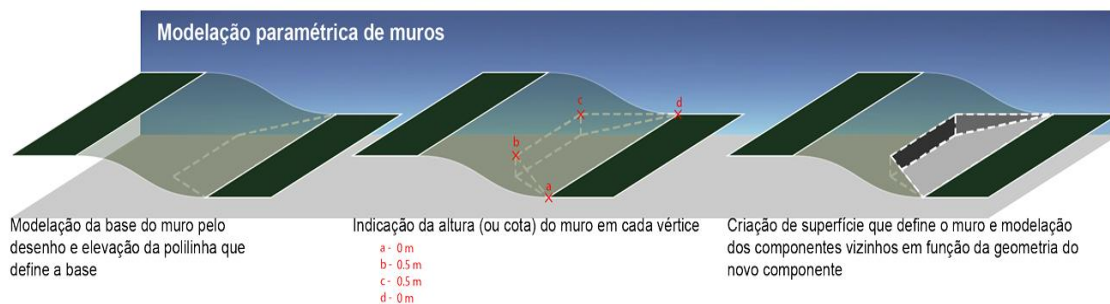


Figura 5- Representação tridimensional de um muro construída com base em parâmetros técnicos, exemplo de instrução clara para obra (adaptado de Lameiras, 2018).

Assim, a fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista deve ser entendida como um momento de articulação entre rigor técnico, clareza comunicacional e consciência interdisciplinar. Para além de definir soluções construtivas, esta etapa desempenha um papel pedagógico e comunicativo, assegurando que o projeto é compreendido e executado de acordo com a sua intenção original, e reforçando a necessidade de integrar metodologias digitais tridimensionais como prática corrente na disciplina.

### 2.3. Representações planimétricas (2D) vs representações tridimensionais (3D): oportunidades e desafios

As representações bidimensionais (2D) continuam a ser o recurso mais comum na Arquitetura Paisagista, sobretudo na fase de obra, permitindo transmitir informação técnica através de plantas, cortes e alçados. No entanto, este tipo de representação enfrenta limitações significativas: a dificuldade em comunicar relações espaciais complexas, profundidades e dinâmicas associadas a elementos vivos como vegetação, solos ou topografia. Para além disso, a interpretação destas representações exige treino técnico, o que frequentemente conduz a ambiguidades e dificuldades de leitura por parte de equipas de execução ou de clientes não especializados (Chen, 2004; Malard, 2005; Jupp et al., 2001).

Neste contexto, a modelação tridimensional (3D) surge como uma solução eficaz para ultrapassar tais dificuldades, ao permitir uma compreensão mais intuitiva e imediata das relações espaciais e construtivas.



Figura 6- Exemplo de visualização tridimensional em ArcScene, ilustrando a clareza espacial face às limitações da representação 2D (adaptado de Jaalama et al., 2015).

Vários estudos demonstram que a visualização 3D favorece a clareza e reduz erros de interpretação, já que a mente humana reconhece naturalmente o espaço tridimensional, ao contrário das abstrações bidimensionais (Fakhoury, 2018; Kitchens & Shiratuddin, 2007). Além disso, o 3D possibilita uma comunicação não-verbal mais eficaz, em que a representação, por si só, transmite informação suficiente sem necessidade de explicações complementares (Fakhoury, 2018).

Outra vantagem prende-se com a capacidade de representar camadas construtivas, hierarquias espaciais e sistemas complexos de forma integrada. Modelos 3D técnicos, focados na precisão construtiva em vez do realismo estético, funcionam como instrumentos de instrução, facilitando a tradução das intenções projetuais para a execução em obra (Whyte, 2002; Wu et al., 2019). Esta abordagem tem sido explorada também em áreas específicas como a acessibilidade, onde ferramentas integradas em softwares como o *SketchUp* permitem criar bibliotecas de elementos normativos que asseguram clareza e conformidade com regulamentos (Rodrigues et al., 2013).

A representação planimétrica bidimensional exige sempre um elevado grau de abstração, sobretudo no caso da topografia, onde curvas de nível e pontos cotados raramente transmitem a forma real do terreno. O tridimensional não apenas complementa, mas também supera estas limitações, pois a representação volumétrica aproxima-se mais da realidade física e comunica de forma mais direta com quem executa a obra. A passagem de superfícies para sólidos no 3D constitui, assim, um passo crucial para garantir rigor construtivo, dado que apenas o sólido permite instruir corretamente espessuras, profundidades e relações entre camadas (Lameiras, 2018).

O 3D, assim, não substitui o 2D, mas complementa-o, assumindo um papel central sempre que se exige clareza e rigor técnico. Ferramentas como *SketchUp* ou *Revit* permitem ainda associar medições, anotações e simulações, tornando o modelo tridimensional não apenas uma representação visual, mas uma verdadeira plataforma de comunicação técnica entre projetista e construtor (Fakhoury, 2018; Rodrigues et al., 2013; Lameiras, 2018).

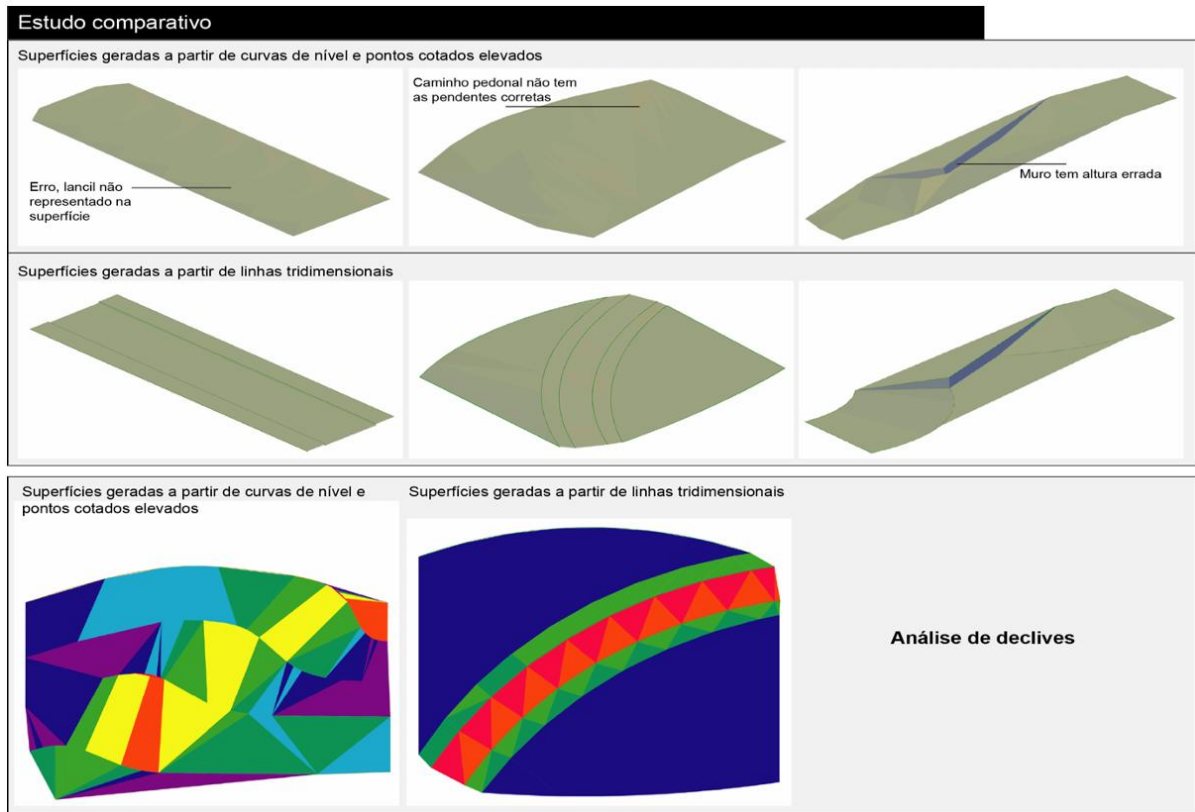


Figura 7- Comparação entre representação bidimensional (curvas de nível) e tridimensional (linhas 3D) na modelação do terreno (adaptado de Lameiras, 2018).

De forma a sintetizar os principais desafios da representação 2D e as vantagens da modelação 3D, a seguir apresenta-se uma tabela de comparação das diferentes metodologias em questão.

| <b>Critério</b>                                       | <b>Representação 2D</b>                                              | <b>Representação 3D</b>                                                       |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Clareza espacial</b>                               | Limitada - requer treino para interpretar plantas, cortes e alçados. | Elevada - compreensão imediata e intuitiva das relações espaciais.            |
| <b>Profundidade e Volumetria</b>                      | Não representadas diretamente (dependem de convenções gráficas).     | Representadas de forma direta, facilitando a leitura da realidade construída. |
| <b>Comunicação com equipas de obra</b>                | Pode gerar ambiguidades e erros de interpretação.                    | Reduz ambiguidades e favorece a comunicação não-verbal.                       |
| <b>Elementos vivos (solos, vegetação, topografia)</b> | Representados de forma abstrata e simplificada.                      | Podem ser modelados com maior realismo e dinâmica.                            |

|                                                  |                                                           |                                                                         |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Camadas construtivas</b>                      | Representadas por convenções gráficas em cortes técnicos. | Visualizadas em modelos hierárquicos e dinâmicos (camadas sobrepostas). |
| <b>Acessibilidade para públicos não técnicos</b> | Difícil compreensão para clientes e leigos.               | Acessível e intuitivo para diferentes perfis de utilizadores.           |
| <b>Erro e interpretação</b>                      | Elevado risco de interpretação incorreta.                 | Redução significativa de erros e maior fiabilidade.                     |
| <b>Ferramentas comuns</b>                        | <i>AutoCAD</i> , desenhos técnicos em 2D.                 | <i>SketchUp</i> , <i>Revit</i> , <i>BIM</i> , <i>CAD</i> paramétrico.   |

Tabela 1- Síntese comparativa das limitações e potencialidades das representações 2D e 3D, respetivamente, na comunicação projetista-construtor/cliente.

## 2.4. Superfícies vs sólidos na modelação tridimensional

A distinção entre superfícies e sólidos é uma questão central na modelação tridimensional aplicada à Arquitetura Paisagista. Enquanto as superfícies bidimensionais infinitamente finas (mesh surfaces) permitem representar formas complexas com grande flexibilidade e rapidez, os modelos sólidos acrescentam a dimensão volumétrica indispensável à pormenorização construtiva. Esta diferença adquire particular relevância quando o objetivo é a comunicação técnica em fases de execução de obra.

Nos sistemas baseados em superfícies, como o B-Rep (Boundary Representation), a geometria de um objeto é descrita através das suas fronteiras — vértices, arestas e faces — sem qualquer informação intrínseca sobre o seu interior. Esta abordagem é eficaz para visualização, simulação ou simplificação geométrica, mas levanta limitações quando é necessário transmitir instruções construtivas precisas (Koussa & Koehl, 2009). Pelo contrário, a modelação sólida, frequentemente associada à CSG (Constructive Solid Geometry), parte de volumes elementares (cubos, cilindros, esferas, etc.) e constrói objetos a partir de operações booleanas (união, interseção e diferença). Este método assegura a noção de espessura, massa e materialidade, características críticas para o detalhe construtivo (Hoffmann, 1989).

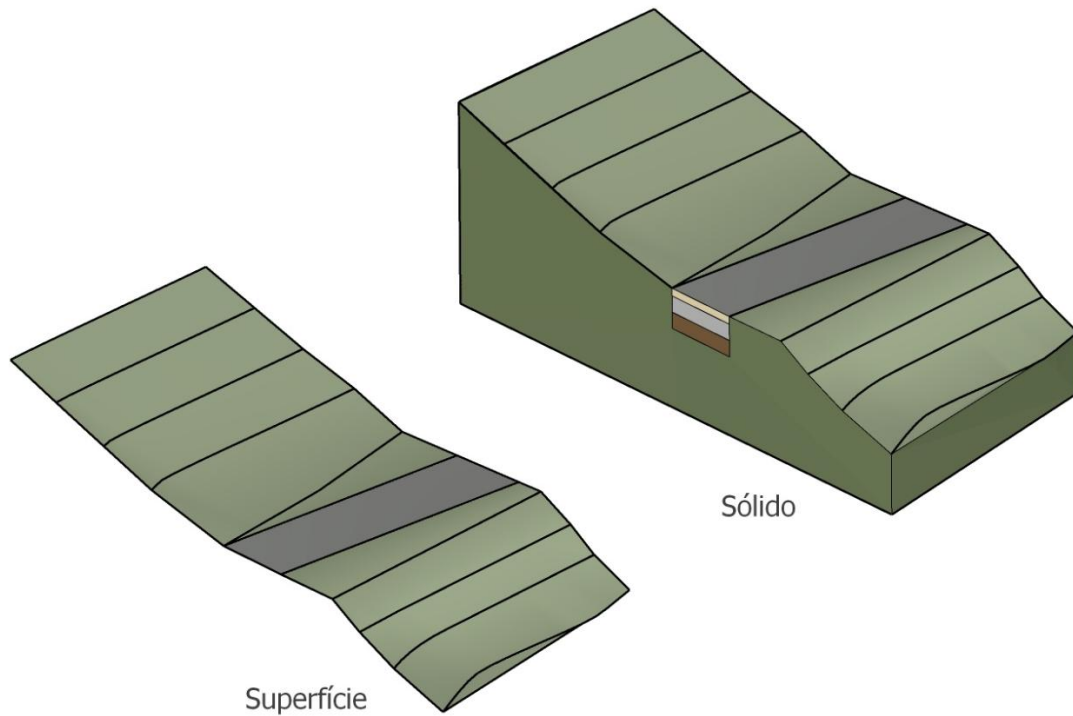


Figura 8- Comparação entre a modelação do terreno por superfícies digitais e por sólidos com espessura (inspirado de Lameiras, 2018).

Na prática profissional, a utilização de superfícies é comum em softwares de modelação arquitetónica como o *SketchUp*, devido à sua facilidade de manipulação e capacidade de representar formas complexas. Contudo, esta abordagem gera modelos sem volume real, o que pode criar ambiguidades na passagem de informação para a execução, sobretudo quando se tratam de camadas construtivas ou sistemas que exigem definição rigorosa de espessuras (Sohrabi & Peng, 2021). Por sua vez, a modelação sólida permite a incorporação de parâmetros construtivos e de desempenho, respondendo melhor às exigências do design orientado por performance, que procura integrar critérios técnicos desde as fases iniciais de conceção (Badino, Shtrepi, & Astolfi, 2020).

Recentemente, têm-se procurado explorar formas híbridas de representação, onde modelos inicialmente baseados em superfícies podem ser convertidos em sólidos por meio de algoritmos de simplificação e extrusão (Sohrabi & Peng, 2021). Esta transição é particularmente útil em contextos de projetos paisagistas, nos quais se combinam elementos de natureza distinta: desde superfícies topográficas complexas até volumes construtivos que exigem rigor técnico. Além disso, estudos pedagógicos mostram que a compreensão espacial aumenta significativamente quando os utilizadores trabalham com sólidos em vez de superfícies planas, já que os primeiros

permitem uma perceção mais direta de volume e composição (Sung, Shih, & Chang, 2014).

A paisagem não é composta apenas por superfícies bidimensionais, mas por volumes que integram substrato, solos, camadas e estruturas. O uso exclusivo de superfícies digitais, como TIN (Triangulated Irregular Network) ou NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), reduz esta complexidade volumétrica a uma pele infinitamente fina, comprometendo a comunicação técnica. Torna-se, por isso, necessária a evolução para modelos sólidos que representem a materialidade real do terreno. A proposta do “TIN 2.0” constitui precisamente uma tentativa de ultrapassar esta limitação, ao conjugar a flexibilidade das superfícies com a robustez volumétrica indispensável à pormenorização construtiva (Lameiras, 2018).

Em síntese, enquanto a representação por superfícies é adequada para fases conceptuais e de comunicação visual, a modelação por sólidos revela-se mais eficaz para a fase de pormenorização construtiva, assegurando clareza, rigor técnico e correspondência com a realidade material da obra. A integração entre estas duas abordagens pode constituir um caminho promissor para a prática da Arquitetura Paisagista, potenciando a utilização de modelos tridimensionais que não só comuniquem intenções formais, mas também instruções construtivas fiáveis.

Para clarificar as diferenças fundamentais entre as duas abordagens, apresenta-se de seguida uma síntese comparativa entre a modelação por superfícies e a modelação por sólidos, destacando os seus principais contributos e limitações no contexto da Arquitetura Paisagista.

| <b>Critério</b>                              | <b>Modelação por Superfícies</b>                                 | <b>Modelação por Sólidos</b>                       |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Natureza geométrica</b>                   | Definição da forma pelas fronteiras (faces, arestas e vértices). | Definição volumétrica com massa e espessura.       |
| <b>Precisão construtiva</b>                  | Limitada, útil para fases conceptuais e visualização.            | Elevada, adequada para pormenorização construtiva. |
| <b>Representação de espessuras e camadas</b> | Não representadas (infinitamente finas).                         | Representações de forma explícita.                 |

|                              |                                                         |                                                                        |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Complexidade formal</b>   | Elevada capacidade de representar superfícies complexas | Mais limitado em formas livres, mas rigoroso na definição volumétrica. |
| <b>Exemplos de software</b>  | <i>SketchUp, Rhino, Maya.</i>                           | <i>Revit, AutoCAD 3D, BIM.</i>                                         |
| <b>Aplicações principais</b> | Visualização, simulação, conceptualização.              | Execução, detalhe técnico, comunicação construtiva.                    |

Tabela 2- Síntese comparativa entre modelação por superfícies ou modelação por sólidos aplicados à Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista.

## 2.5. Representação de realidades vivas: solos, vegetação e topografia

A representação tridimensional em Arquitetura Paisagista enfrenta o desafio particular de traduzir realidades vivas, como vegetação e solos, e realidades físicas como a topografia, que apresentam dinâmicas temporais e estruturais complexas. A vegetação é um dos exemplos mais evidentes: altera-se sazonalmente, cresce, modifica densidade e cobertura. Para que os modelos 3D cumpram uma função técnica, é necessário ultrapassar o mero realismo visual e adotar abordagens parametrizáveis que permitam simular estados fenológicos e variações temporais (Kowe, Mutanga, & Dube, 2021; Shiode, 2001). Estudos sobre visualização digital da paisagem sublinham ainda que o nível de abstração das representações — do diagramático ao realista — deve ser definido em função do objetivo do projeto, evitando excessos decorativos que possam comprometer a clareza técnica (Ervin, 2001).

No domínio dos solos, a sua representação tridimensional é essencial para comunicar camadas, espessuras e interações subterrâneas, invisíveis à percepção imediata, mas críticas para a execução em obra. A evolução dos métodos de digital soil mapping e o desenvolvimento de modelos 3D e 4D (componente temporal) demonstram a necessidade de integrar dados físicos, químicos e biológicos em representações volumétricas que reflitam a natureza dinâmica do solo (Grunwald, 2009; Gerke, 2022). Modelos baseados em sólidos, e não em superfícies infinitamente finas, permitem instruir de forma mais precisa sobre profundidades, drenagens e interações entre raízes, fundações e substratos (Hoffmann, 1989).

No que respeita à topografia, a modelação tridimensional oferece vantagens evidentes face ao desenho bidimensional. As curvas de nível simplificam em excesso a

realidade, enquanto os modelos digitais de terreno e superfícies trianguladas (TIN) captam com maior fidelidade rampas, taludes ou muros de suporte. Tecnologias como LiDAR, fotogrametria digital e técnicas de remeshing permitem não só maior precisão geométrica, mas também análises de desempenho associadas a drenagem, visibilidade, estabilidade e exposição solar (Elberink, 2005; Oude Elberink, 2014; Raper & Maguire, 1992). A integração da topologia em ambientes GIS 3D acrescenta ainda a possibilidade de representar conectividade e relações espaciais entre elementos, garantindo que os modelos não sejam apenas geometrias isoladas, mas estruturas relacionais úteis para análise e planeamento (Salleh & Ujang, 2023).

A representação tridimensional da topografia deve ser entendida como um processo de redução da abstração, uma vez que, ao contrário das curvas de nível que exigem elevada capacidade interpretativa, os modelos digitais aproximam-se mais da realidade geométrica e comunicam com maior clareza em contexto de execução. Importa ainda considerar que os solos não podem ser representados como meras superfícies, mas como volumes com espessura e estratificação, condição essencial para instruir corretamente sistemas construtivos e dinâmicas subterrâneas (Lameiras, 2018).

Assim, a representação tridimensional de solos, vegetação e topografia deve basear-se em três princípios centrais: (i) precisão técnica, assegurada por modelos volumétricos e parametrizáveis; (ii) adaptabilidade temporal, através de simulações dinâmicas de crescimento ou alteração; e (iii) clareza comunicativa, orientada para a prática construtiva e para a instrução rigorosa em obra. Só desta forma é que os modelos 3D se podem tornar ferramentas técnicas eficazes em Arquitetura Paisagista, indo além da mera visualização estética.

Para sintetizar os principais desafios associados à representação tridimensional de realidades vivas e físicas na Arquitetura Paisagista, apresenta-se de seguida uma comparação entre vegetação, solos e topografia, destacando as limitações mais comuns e as soluções propostas na literatura.

| Elemento         | Desafios de representação 3D                                                                                 | Soluções propostas                                                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vegetação</b> | Variações sazonais e fenológicas; crescimento dinâmico; densidade e cobertura variáveis (Koew et al., 2021). | Modelos parametrizáveis e simplificados; simulação de estados fenológicos; integração em BIM e “digital twins” (Nilsson, 2021; Shiode, 2001). |

|                   |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Solos</b>      | Camadas invisíveis; estratificação difícil de comunicar em 2D; interações com raízes, fundações e drenagem (Grunwald, 2009; Gerke, 2022) | Modelos volumétricos (solid-based); digital soil mapping; simulações 3D/4D para processos dinâmicos (Hoffmann, 1989; Gerke, 2022).                             |
| <b>Topografia</b> | Abstração excessiva das curvas de nível; dificuldade em comunicar rampas, taludes e transições suaves (Raper & Maguire, 1992).           | Modelos digitais de terreno (TIN, LiDAR, fotogrametria); remeshing para simplificação geométrica; integração em GIS 3D (Elberink, 2005; Salleh & Ujang, 2023). |

Tabela 3- Síntese dos desafios da representação 3D e soluções propostas na representação de vegetação, solos e topografia em Arquitetura Paisagista.

## 2.6. Representação de realidades construídas: muros, pavimentos, estruturas

Para além das realidades vivas — solos, vegetação e topografia — a Arquitetura Paisagista integra igualmente um vasto conjunto de realidades construídas que asseguram a estabilidade, a funcionalidade e a durabilidade dos espaços. Muros de suporte, pavimentos, *decks*, escadas, rampas, fundações e infraestruturas técnicas constituem não apenas infraestruturas de apoio ao uso, mas também interfaces críticas entre sistemas naturais e artificiais.

A literatura técnica fornece já um corpo consistente de orientações normativas para a conceção e execução destes elementos. O manual *Time-Saver Standards for Building Types* (2001), por exemplo, sistematiza dimensões, materiais e requisitos funcionais para diferentes tipologias construtivas, oferecendo um enquadramento de referência amplamente utilizado em contextos de projeto. Contudo, estas orientações assentam maioritariamente em representações bidimensionais — cortes, plantas e alçados — que raramente traduzem a complexidade volumétrica e construtiva dos elementos em questão (Lehmkuehler, 2001; Horayangkura, 2002).

Na prática projetual, esta limitação torna-se evidente em situações como:

- **Muros de suporte**, onde a correta leitura das fundações, sistemas de drenagem e articulação com o terreno exige clareza volumétrica.
- **Pavimentos**, cuja execução depende da compreensão das várias camadas (sub-base, base, acabamento, juntas) e da sua relação com pendentes e sistemas de escoamento.
- **Estruturas técnicas**, como escadas ou passadiços, que implicam a articulação entre diferentes materiais e sistemas de apoio.

É neste ponto que a representação tridimensional revela o seu contributo fundamental. Ao transformar superfícies em sólidos com espessura, volume e detalhe construtivo, o 3D permite explicitar volumetrias, articulações estruturais e relações entre materiais, assegurando instruções mais claras e reduzindo o risco de interpretações divergentes. Por exemplo, num muro de suporte, é possível representar não apenas o paramento visível, mas também a fundação, as camadas drenantes e os elementos de reforço; num pavimento, as várias camadas de sub-base, base e acabamento tornam-se imediatamente legíveis; e em *decks* ou escadas, a leitura tridimensional das uniões e apoios revela-se decisiva para a exequibilidade em obra.

Para além de reforçar o rigor técnico, a modelação 3D facilita a comunicação com diferentes interlocutores: para projetistas e construtores, a volumetria explícita clarifica o processo construtivo; para clientes e utilizadores finais, oferece uma perceção mais intuitiva das soluções propostas. A literatura aponta ainda que esta abordagem aproxima a prática da Arquitetura Paisagista da lógica do BIM (*Building Information Modeling*), onde os modelos não são apenas representações gráficas, mas também suportes de informação para quantificação, gestão e manutenção (Whyte, 2002; Eastman et al., 2008; Fakhoury, 2003; Dossick & Neff, 2010).

Assim, a representação tridimensional de realidades construídas não deve ser vista apenas como um complemento gráfico, mas como um instrumento metodológico capaz de conjugar precisão técnica, clareza comunicativa e inovação. Ao lado das realidades vivas, estes elementos sublinham a importância de uma abordagem integrada que valorize a pormenorização construtiva como etapa essencial da Arquitetura Paisagista contemporânea.

| <b>Elemento</b>                                         | <b>Representação 2D<br/>(limitações)</b>                                                                              | <b>Representação 3D<br/>(vantagens)</b>                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Muros de suporte</b>                                 | Perfis simplificados, omissão de fundações e sistemas de drenagem (Lehmkuehler, 2001; Horayangkura, 2002).            | Visualização volumétrica completa: paramento, fundação, drenagem, camadas de reforço (Whyte, 2002; Eastman et al., 2008).                 |
| <b>Pavimentos</b>                                       | Dificuldade em transmitir a sequência de camadas (sub-base, base, acabamento) em cortes e plantas (Time-Saver, 2001). | Estratificação visível e clara, leitura imediata das espessuras, inclinações e juntas (Fakhoury, 2003; Dossick & Neff, 2010)..            |
| <b>Estruturas técnicas<br/>(escadas, rampas, decks)</b> | Omissão de uniões, apoios e encaixes; representação esquemática sem detalhe construtivo (Horayangkura, 2002).         | Compreensão volumétrica das uniões e apoios; clareza na leitura de encaixes, materiais e articulações estruturais (Eastman et al., 2008). |

Tabela 4- Síntese comparativa entre representação bidimensional e tridimensional de realidades construídas, aplicados à Pormenorização Construtiva em Arquitetura Paisagista.

### 3. Caso de Estudo: GAIA HILLS – Lote Parque Verde, Vila Nova de Gaia

#### 3.1. Enquadramento do projeto

Este projeto foi desenvolvido pela autora durante o estágio no atelier LJ-Group, assegurando a autoria plena das soluções e representações apresentadas. O trabalho reflete uma abordagem integrada entre conceção paisagística e representação tridimensional orientada para a pormenorização construtiva, constituindo a base prática para a reflexão crítica da presente dissertação.

O projeto GAIA HILLS – Lote Parque Verde, localizado em Vila Nova de Gaia, insere-se num contexto urbano de forte relação topográfica com o rio Douro, caracterizado por uma encosta acentuada e marcada pela presença de vegetação invasora.



Figura 9- Fotografia aérea da área de intervenção | Google Earth

A caracterização da topografia, marcada por declives significativos, exigiu um trabalho de modelação criterioso que evitasse movimentos de terra excessivos, optando-se, sempre que possível, pela integração de elementos como muros de suporte em granito ou passadiços elevados em madeira, minimizando a perturbação do solo e o impacto visual.



Figura 10- Localização do Corte AA' da topografia existente



Figura 11- Corte AA' da topografia existente

A exposição solar do terreno — predominantemente virada a poente — constitui um fator determinante para a definição da vegetação e para a localização de espaços de estadia, de modo a garantir conforto térmico e valorizar os momentos de iluminação natural ao fim do dia.

### 3.2. Proposta

A proposta assenta numa estratégia de valorização do *genius loci* — nomeadamente a proximidade ao rio Douro e a morfologia do terreno — tirando partido das pré-existências e dos percursos informais.

A estrutura do parque organiza-se em socalcos e procura estabelecer uma forte ligação entre a cota alta e a cota baixa através de percursos pedonais contínuos, acessos mecanizados previstos e um passadiço escultórico que atua como elemento de conexão e referência visual.



Figura 12- Plano Geral da Proposta para o projeto GAIA HILLS Lote Parque Verde

#### Legenda:

- A. Acessos ao parque
- B. Praça circular
- C. Passadiços em madeira
- D. Zonas de estadia
- E. Zona de recreio informal
- F. Zona de refeição
- G. Anfiteatro informal
- H. Zonas de estadia em deck
- I. Zonas de estadia em rede suspensa
- J. Bacias de retenção
- K. Possibilidade de ligação ao metro através de meios mecanizados

Esta relação entre cotas não é apenas funcional, mas também experiencial, permitindo uma fruição paisagística gradual com múltiplas oportunidades de estadia, observação e contemplação.



Figura 13- Localização do Corte AA' da topografia Proposta



Figura 14- Corte AA' da topografia proposta

O projeto contempla todas as camadas fundamentais de uma intervenção paisagista contemporânea: drenagem sustentável (através de bacias de retenção e infiltração), seleção criteriosa de vegetação autóctone e ornamental, articulação entre percursos, zonas de estadia e mobiliário urbano. Tudo isto é desenvolvido com uma linguagem coerente entre os diferentes elementos materiais e construtivos — como o uso dominante do granito e da madeira — promovendo continuidade visual e funcional com o empreendimento Gaia Hills.

Adicionalmente, esta proposta contribui para a construção de um corredor verde urbano ao longo das encostas do Douro, promovendo não só a biodiversidade, mas também o bem-estar da comunidade, ao criar um espaço de qualidade onde natureza e cidade coexistem de forma harmoniosa.

### 3.3. Oportunidades, desafios e objetivos do projeto

Do ponto de vista académico e técnico, este projeto representa uma oportunidade para investigar a aplicação da modelação tridimensional à pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista. Será aprofundada a forma como soluções projetuais foram conceptualizadas e comunicadas em 3D, explorando-se o seu potencial como linguagem técnica de precisão e clareza entre projetistas e construtores.

Entre os principais desafios destaca-se a necessidade de traduzir corretamente em 3D as condições do terreno (incluindo declives acentuados), as transições de cotas, bem como a representação de elementos vivos como solos e vegetação. A passagem de superfícies para sólidos constitui aqui um problema técnico central, pois apenas os modelos volumétricos permitem comunicar com rigor camadas construtivas, espessuras e sistemas subterrâneos.

Os objetivos centram-se, assim, em testar e demonstrar o valor da modelação tridimensional como ferramenta de apoio à pormenorização construtiva, avaliando as suas vantagens em termos de clareza comunicativa e rigor técnico, e contribuindo para a definição de orientações que reforcem a integração do 3D na prática profissional da Arquitetura Paisagista.

## 4. Caso de Estudo: Pormenorização Construtiva

### 4.1. Identificação e elaboração das necessidades de pormenorização construtiva: seleção de elementos relevantes

A fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista exige a tradução rigorosa do conceito em instruções técnicas, assegurando a correta execução em obra. É nesta etapa que se definem materiais, espessuras, cotas, sistemas de fixação e interações entre elementos, estabelecendo a ponte entre a visão do projetista e a materialização do espaço. A literatura sublinha que a clareza desta fase é determinante, já que erros ou ambiguidades nos pormenores técnicos resultam frequentemente em falhas construtivas e em perdas de qualidade.

Para efeitos desta investigação, foram selecionados dez elementos de pormenorização que se assumem como representativos da diversidade e complexidade da prática profissional. Estes abrangem tanto componentes construídas e inertes (estruturas, pavimentos, *decks*, bacias de retenção) como realidades vivas (solos, vegetação, sistemas de plantação e tutoragens). A sua escolha justifica-se pelo facto de constituírem pontos críticos de articulação entre sistemas distintos, onde a comunicação bidimensional tende a revelar limitações significativas.

Em consonância com a lógica de execução em obra, os pormenores foram organizados em quatro grandes grupos:

- **Drenagem** (bacias de retenção, valas drenantes, geodrenos), que corresponde às primeiras intervenções após a preparação do terreno;
- **Pavimentos e transições construtivas**, que estruturam a circulação e o suporte ao uso;
- **Estruturas construídas e elementos técnicos**, fundamentais para garantir estabilidade e funcionalidade;
- **Zonas verdes e plantações**, que consolidam a integração ecológica e estética do projeto.

Esta sequência metodológica reflete a prática construtiva real e permite sistematizar a análise de forma coerente e progressiva, facilitando a comparação entre representação bidimensional e tridimensional.



Figura 15- Identificação das necessidades de Pormenorização Construtiva

Através da modelação tridimensional, procura-se explorar de que forma estes pormenores podem ser representados de modo mais claro, técnico e comunicativo, contribuindo para uma leitura intuitiva e rigorosa por parte das equipas de execução. Cada subcapítulo apresentará, assim, uma breve contextualização teórica, os modelos tridimensionais desenvolvidos e uma reflexão crítica sobre a eficácia da representação 3D face ao desenho bidimensional.

Neste enquadramento, o primeiro grupo a analisar será o da drenagem, que integra elementos essenciais à gestão da água no terreno, como bacias de retenção, valas drenantes e geodrenos, constituindo a base sobre a qual se apoiam as restantes camadas construtivas.

#### 4.1.1. Bacias de retenção

As bacias de retenção constituem um dos principais dispositivos de drenagem sustentável, desempenhando um papel essencial tanto no plano ecológico como no construtivo. São responsáveis pela gestão de águas pluviais, promovendo a infiltração no solo e reduzindo a pressão sobre as redes de drenagem convencionais. A sua relevância decorre da complexidade que integram: topografia, sistemas de drenagem, camadas filtrantes e vegetação, que em conjunto asseguram o bom funcionamento hidráulico e a integração paisagística.

As representações em 2D tendem a simplificar estas estruturas em cortes esquemáticos, omitindo a volumetria e as interações entre camadas. Por isso, a representação tridimensional assume um papel decisivo, permitindo visualizar a geometria da bacia, os volumes de água expectáveis e a estratificação das diferentes camadas drenantes e vegetais. Esta abordagem aumenta a perceção funcional e facilita a comunicação entre projetistas e construtores, assegurando maior rigor na execução.



Figura 16- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo da Bacia de Retenção.

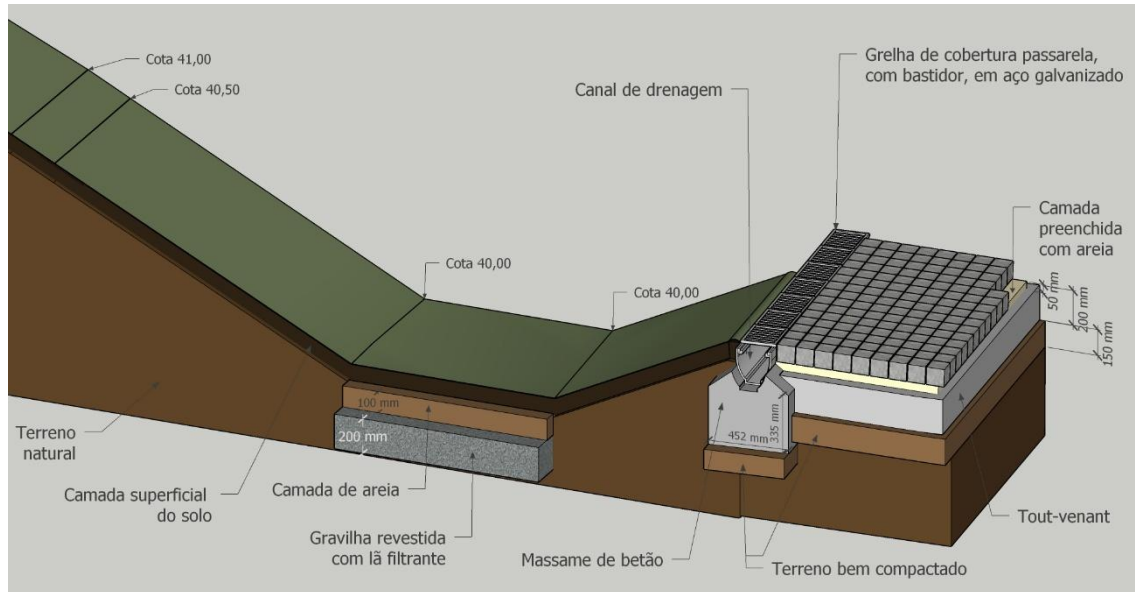


Figura 17- Pormenor Construtivo de Bacia de Retenção, desenvolvido com base em detalhe publicado em *Constructive Landscape: Materials, Techniques, Structural Components*.

O pormenor desenvolvido representa uma bacia de retenção concebida para gerir de forma sustentável as águas pluviais no parque. A solução integra diversas camadas técnicas com funções complementares: a gravilha revestida com lã filtrante atua como camada drenante e de filtragem, impedindo que partículas sólidas obstruam o sistema; sobre esta é aplicada uma camada de areia, responsável por estabilizar o fundo e distribuir de forma uniforme os fluxos hídricos. A articulação com um canal de drenagem em betão reforça a capacidade de escoamento controlado, conduzindo a água para pontos de infiltração ou descarga previamente definidos.

O pormenor evidencia ainda a relação com o pavimento adjacente em cubos de granito. A sua inclinação de 2% assegura o correto encaminhamento da água para a bacia, demonstrando a importância da coordenação entre sistemas construtivos e naturais. Esta articulação revela-se de forma particularmente clara na modelação 3D, que permite representar não apenas as camadas técnicas, mas também o modo como estas se conectam funcionalmente.

Assim, a bacia de retenção deve ser entendida não apenas como uma solução de drenagem, mas como uma infraestrutura ecológica, capaz de conciliar eficiência técnica com integração paisagística. Ao reforçar a sustentabilidade do espaço e mitigar riscos de erosão ou sobrecarga das redes, contribui diretamente para o conforto dos utilizadores e para a resiliência do parque.

#### 4.1.2. Pavimentos e soluções construtivas: pavimentos e transições

Os pavimentos constituem uma das camadas mais determinantes em projeto, quer pela sua função de suporte ao uso, quer pelas exigências técnicas de estabilidade, resistência e drenagem. A sua execução envolve várias camadas (sub-base, base e acabamento), cuja representação clara é fundamental para evitar erros em obra. No entanto, em desenho bidimensional, estas sobreposições nem sempre são transmitidas com rigor, originando ambiguidades e dificuldades de interpretação.

A modelação tridimensional surge, assim, como um instrumento que permite representar de forma precisa a espessura das camadas, as suas inclinações e a articulação com outros sistemas construtivos. Esta abordagem reforça a compreensão das transições, assegurando que o detalhe projetual se traduz em instruções claras e exequíveis para as equipas de construção.



Figura 18- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento em cubos de granito.

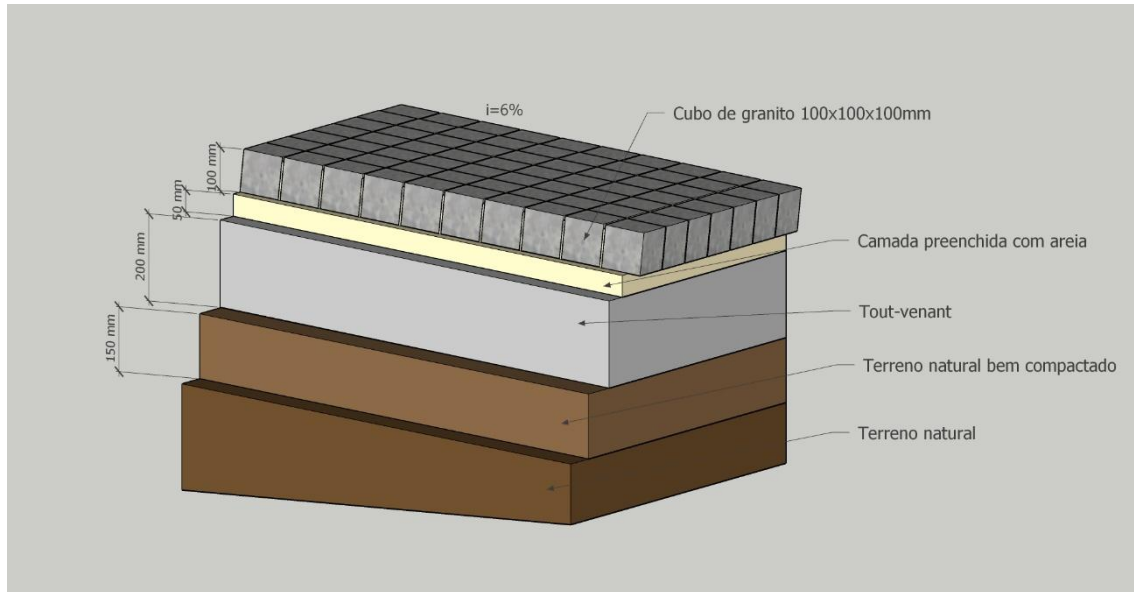


Figura 19- Pormenor Construtivo de Pavimento em cubos de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

O pavimento em cubos de granito segue uma composição construtiva em camadas que garante resistência mecânica, estabilidade e eficiência na drenagem. O acabamento é constituído por cubos de granito 100×100×100 mm, assentes com inclinação de 6%, valor escolhido para manter a acessibilidade em todo o parque e, simultaneamente, responder à forte inclinação natural do terreno. As juntas, preenchidas com areia, contribuem tanto para a fixação como para a permeabilidade parcial da superfície, evitando acumulações de água.

Sob a camada de acabamento encontra-se uma cama de areia de 50 mm, que funciona como colchão de regularização, permitindo a correta acomodação das peças. Segue-se uma camada de 200 mm de tout-venant, responsável pela drenagem estrutural e pela distribuição uniforme das cargas. A fundação é garantida por solo natural bem compactado, com 150 mm de espessura controlada.

Este pormenor evidencia como a estratificação e a definição rigorosa de espessuras são cruciais para a execução. A modelação tridimensional facilita a leitura destas relações, eliminando ambiguidades comuns em plantas e cortes bidimensionais, ao mesmo tempo que oferece uma perceção imediata da sequência construtiva e da volumetria das peças.



Figura 20- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento Reforçado em cubos de granito.

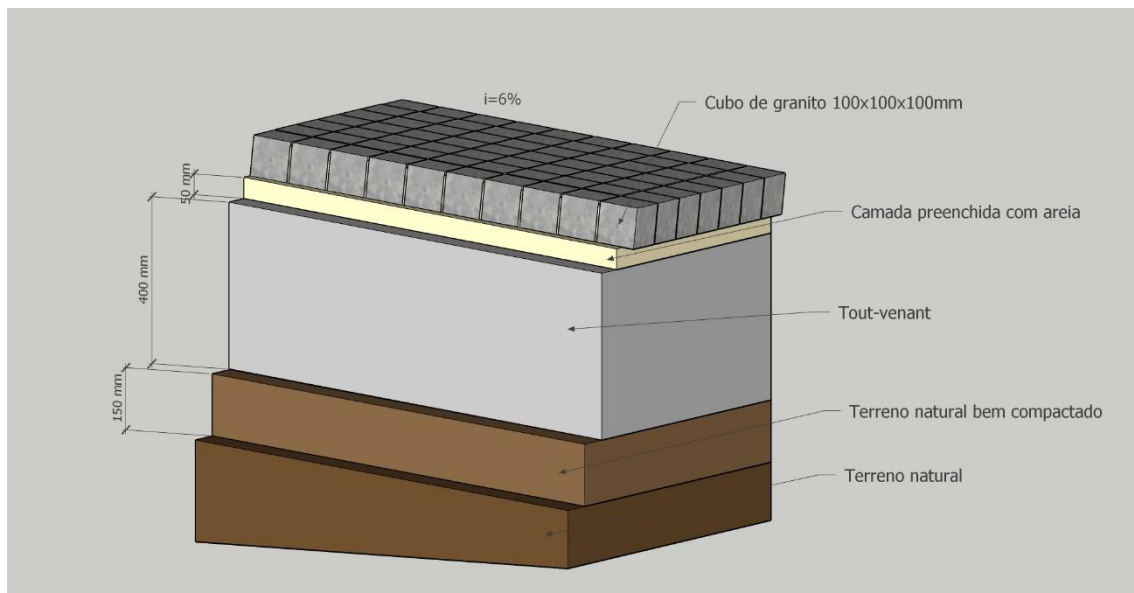


Figura 21- Pormenor Construtivo de Pavimento Reforçado em cubos de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

O pavimento em cubos de granito reforçado distingue-se pela espessura acrescida da camada de tout-venant, que neste caso atinge 400 mm. Esta solução foi pensada para suportar cargas mais elevadas, assegurando a circulação de veículos de emergência e de manutenção do parque. Em comparação com o pavimento convencional, todos os restantes elementos se mantêm idênticos — cubos de granito sobre cama de areia e fundação em solo compactado — sendo a fundação reforçada o fator crítico que garante maior robustez e durabilidade.

A modelação tridimensional torna clara esta diferença, evidenciando de imediato o aumento volumétrico da camada estrutural e eliminando ambiguidades na leitura e execução em obra.



Figura 22- Vista aproximada do local correspondente ao pormenor construtivo do Pavimento de Lajetas irregulares de granito.

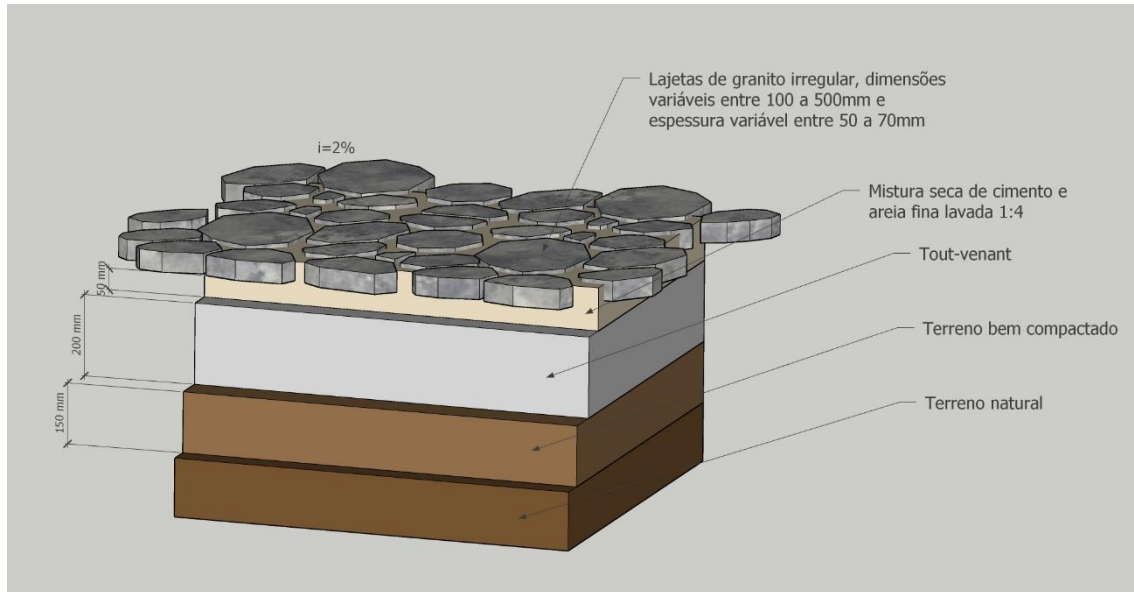


Figura 23- Pormenor Construtivo do Pavimento de Lajetas irregulares de granito, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

O pavimento em lajetas de granito irregular distingue-se pela sua linguagem mais orgânica e rústica, fruto da utilização de peças com dimensões variáveis (entre 100 e 500 mm) e espessuras entre 50 e 70 mm. Esta irregularidade formal favorece a integração com o contexto natural e a adaptação às dinâmicas do terreno, criando uma solução visualmente distinta em relação aos pavimentos regulares.

As lajetas são assentes sobre uma mistura seca de cimento e areia fina lavada (1:4), que garante a fixação e o enchimento das juntas, assegurando permeabilidade parcial e resistência suficiente. A fundação segue a mesma lógica de base em tout-venant assente sobre solo compactado, proporcionando estabilidade estrutural e durabilidade.

A inclinação aplicada é de apenas 2%, valor reduzido em comparação com outros pavimentos do parque. Esta escolha prende-se com o facto de este espaço estar associado a uma zona de refeições, onde uma superfície mais plana garante maior conforto para os utilizadores, quer na permanência prolongada, quer na instalação do mobiliário.

Neste caso, a modelação tridimensional revela-se particularmente útil para comunicar a irregularidade geométrica das peças e a sua disposição variável, aspetos difíceis de transmitir em representação bidimensional.

#### 4.1.3. Relações entre pavimentos e zonas verdes

A transição entre pavimentos e zonas verdes representa um ponto crítico em projeto, uma vez que articula sistemas de natureza distinta: por um lado, superfícies construídas e estáveis; por outro, realidades vivas e dinâmicas. Em desenho bidimensional, esta relação é frequentemente reduzida a um corte ou linha de contacto, o que gera ambiguidades na definição de pendentes, camadas de solo e soluções de drenagem.

A modelação tridimensional oferece uma resposta eficaz a esta limitação, ao permitir representar volumetricamente tanto as camadas construtivas do pavimento como a estratificação dos solos. Este nível de detalhe torna evidente a continuidade entre os sistemas e as suas interações, reforçando a precisão na execução e garantindo que a interface entre elementos inertes e vivos seja construída de acordo com a intenção projetual e as exigências técnicas da profissão.



Figura 24- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de transição entre Pavimento em cubos de granito e Área Verde.

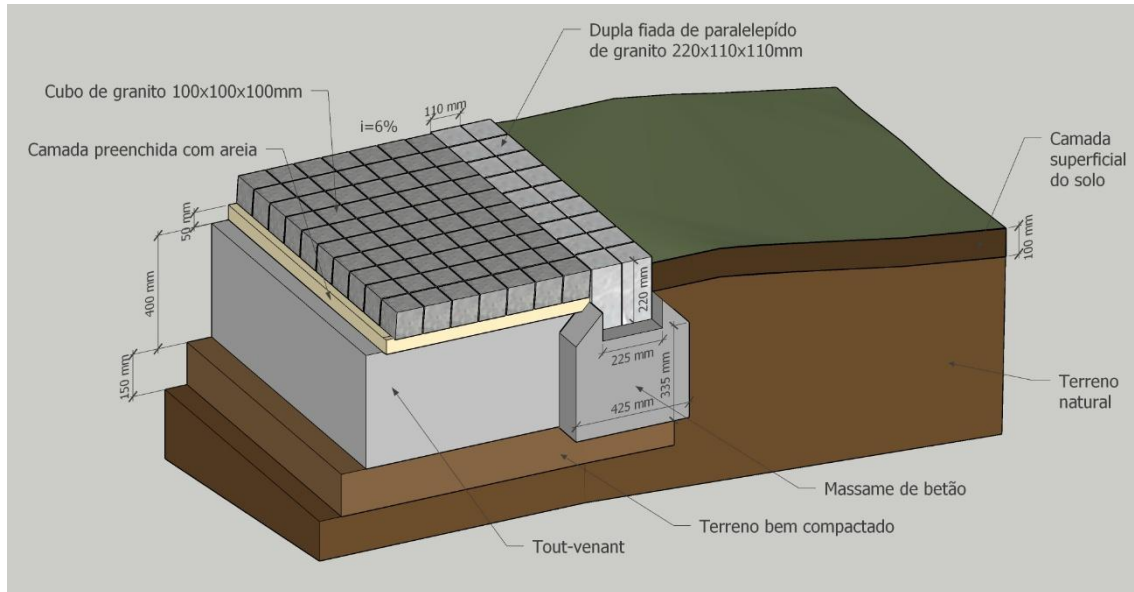


Figura 25- Pormenor Construtivo de transição entre Pavimento em cubos de granito e Área Verde, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

O pormenor apresentado ilustra a transição entre o pavimento em cubos de granito e a área verde adjacente, constituindo uma das zonas mais sensíveis do projeto. Para garantir estabilidade e durabilidade nesta interface, foi introduzida uma dupla fiada de paralelepípedos de granito (220×110×110 mm), que atua como elemento de contenção e delimitação. Este reforço impede a deslocação dos cubos de granito e assegura a ligação firme ao solo, contribuindo para a integridade do conjunto.

A solução é complementada por um massame de betão, que acrescenta resistência estrutural e protege contra deformações ou assentamentos diferenciais. A camada superficial de solo, com 100 mm de espessura, estabelece a continuidade com a área verde, permitindo o enraizamento da vegetação e promovendo a integração ecológica e paisagística do espaço.

Mantém-se também a inclinação de 6%, já definida para o restante pavimento, valor que resulta de um compromisso entre a necessidade de drenagem eficaz das águas superficiais e a acessibilidade em todo o parque. Esta solução evidencia a articulação entre desempenho técnico e conforto de utilização, garantindo que a transição se integre de forma harmoniosa no conjunto do projeto.

#### 4.1.4. Estruturas construídas e elementos técnicos

As estruturas construídas, como muros de suporte, fundações, sistemas de drenagem ou caixas técnicas, desempenham um papel essencial em Arquitetura Paisagista, assegurando a estabilidade, a funcionalidade e a durabilidade das intervenções. Contudo, a sua representação constitui um desafio, uma vez que o desenho bidimensional tende a simplificar volumetrias e a omitir informações críticas sobre espessuras, profundidades e articulações entre elementos.

Neste contexto, a modelação tridimensional revela-se particularmente eficaz, ao permitir comunicar a massa e o comportamento construtivo destas estruturas com maior clareza. A passagem de superfícies abstratas para sólidos com volume real reforça a precisão da instrução técnica, minimiza ambiguidades e assegura que projetista e construtor partilhem uma base comum de leitura.



Figura 26- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Muro em alvenaria de granito.

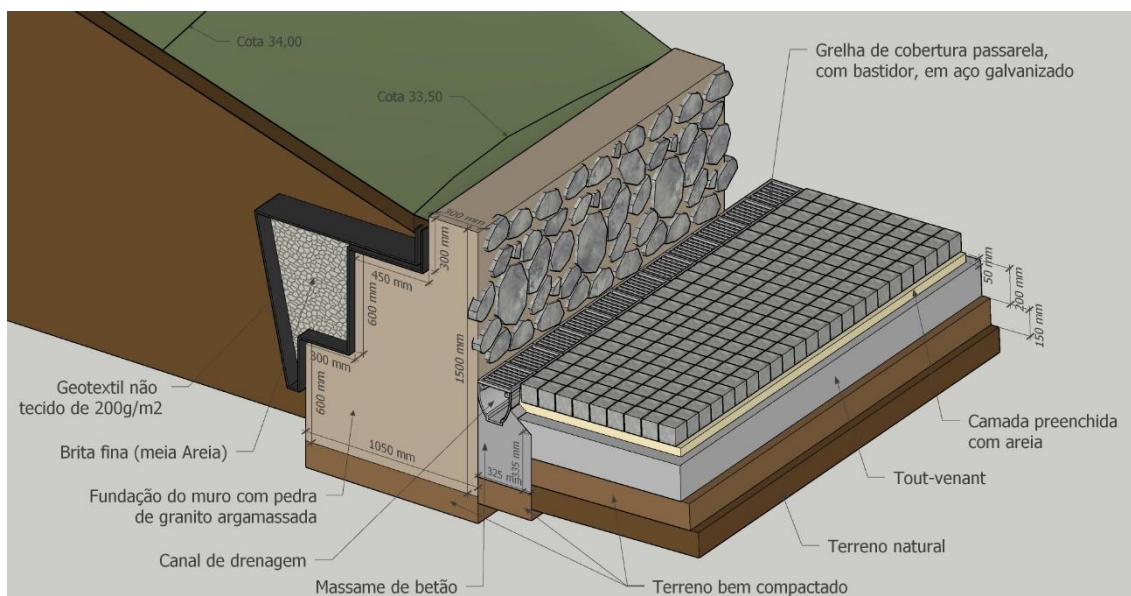


Figura 27- Pormenor Construtivo de Muro em alvenaria de granito, desenvolvido com base no documento do projeto do Parque Verdeal e Observatório Astronómico Professor Manuel de Barros (Biodiv.city, Autores: Paulo Farinha Marques, Cláudia Oliveira Fernandes, Jorge Barbosa e Natália Bruno).

O primeiro exemplo corresponde a um muro em alvenaria de granito, concebido simultaneamente como estrutura de contenção e elemento técnico de estabilização das cotas do terreno. A solução conjuga a robustez tradicional da pedra argamassada com exigências atuais de drenagem e durabilidade. A fundação, executada em blocos de granito argamassados assentes sobre massame de betão, garante a estabilidade da estrutura face às pressões do solo.

A drenagem é assegurada através de um canal incorporado na base do muro, complementado pela aplicação de brita fina (meia areia) e de um geotêxtil não tecido ( $200 \text{ g/m}^2$ ), que funcionam como filtro e evitam o entupimento do sistema. Estes elementos reduzem a pressão hidrostática e previnem patologias associadas à acumulação de água. Em articulação com o pavimento em cubos de granito, foi incluída uma grelha metálica de drenagem em aço galvanizado, que recolhe e direciona as águas superficiais. A inclinação de 2% no pavimento adjacente reforça o escoamento e contribui para manter a superfície seca e acessível.

Assim, o muro conjuga estabilidade estrutural, gestão hídrica e integração paisagística, assumindo-se como um dos elementos técnicos centrais do projeto.



Figura 28- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Escadas em betão.

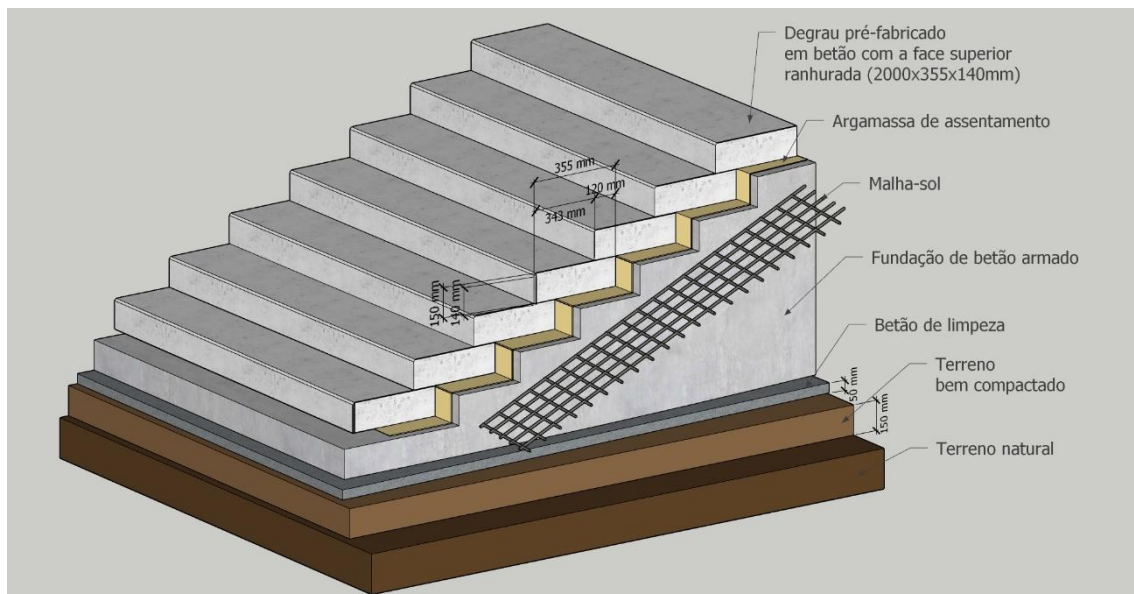


Figura 29- Pormenor Construtivo de Escadas em betão, desenvolvido com base no documento do projeto do Parque Verdeal (Biodiv.city, Autores: Paulo Farinha Marques, José Miguel Lameiras e Manuel Gentil Rebelo (2019)).

O segundo exemplo corresponde a um sistema de escadas em betão armado, desenvolvido a partir de degraus pré-fabricados com face superior ranhurada, garantindo maior aderência e segurança na utilização. Os degraus assentam sobre uma camada de argamassa, apoiada numa fundação de betão armado reforçada com malha-sol, responsável por assegurar resistência estrutural e durabilidade.

A solução integra ainda uma camada de betão de limpeza sobre o terreno natural devidamente compactado, criando uma base estável e nivelada que evita assentamentos diferenciais. A malha-sol desempenha um papel essencial na absorção e distribuição de cargas, reduzindo o risco de fissuração e aumentando a robustez global da estrutura.

Comparativamente aos pavimentos, as escadas distinguem-se pela sua dimensão vertical e pela necessidade de suportar cargas concentradas do uso pedonal em movimento. A opção por degraus pré-fabricados simplifica a execução em obra e assegura uniformidade dimensional e qualidade controlada do material.

Desta forma, a representação tridimensional das escadas permite evidenciar com precisão a articulação entre os diferentes componentes — desde o contacto com o solo até à finalização dos degraus —, assegurando clareza comunicativa e rigor construtivo.

#### 4.1.5. *Decks*

Os *decks* são elementos construtivos particularmente sensíveis, pela sua dupla função estrutural e estética. A sua conceção exige atenção ao detalhe da estrutura de suporte, dos encaixes e das uniões com o solo ou com outros elementos do projeto. Em representação bidimensional, estas relações tendem a ser simplificadas, o que frequentemente omite aspetos críticos para a execução, como a fixação das pranchas, os apoios metálicos ou as ligações com a vegetação envolvente.

A modelação tridimensional surge, neste contexto, como uma mais-valia ao permitir comunicar volumetricamente apoios, uniões e variações de nível. Esta abordagem reduz ambiguidades, assegura maior precisão e proporciona uma leitura intuitiva das relações entre o deck, o terreno e os restantes elementos paisagísticos.



Figura 30- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Passadiço em Madeira.

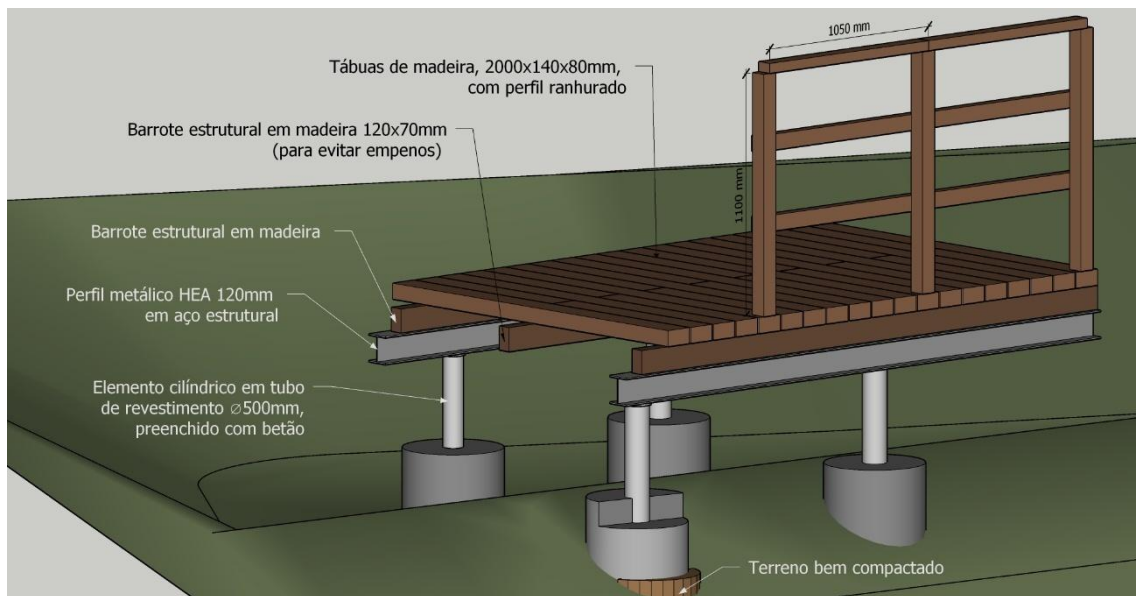


Figura 31- Pormenor Construtivo de Passadiço de Madeira, desenvolvido com base em detalhe publicado em *Constructive Landscape: Materials, Techniques, Structural Components*.

O pormenor desenvolvido corresponde a um sistema de deck em madeira apoiado sobre uma estrutura mista de madeira e aço, concebido para vencer as grandes inclinações do terreno sem recorrer a movimentos excessivos de terra ou a alterações significativas das curvas de nível existentes. Desta forma, o deck funciona como uma

solução construtiva que respeita a morfologia natural do local, assegurando acessibilidade e conforto de circulação.

A superfície de utilização é composta por tábuas de madeira com perfil ranhurado, que garantem maior aderência e segurança. Estas estão apoiadas sobre barrotes estruturais em madeira, responsáveis por distribuir uniformemente as cargas e evitar deformações. A estabilidade global é assegurada por perfis metálicos HEA em aço estrutural, fixados a fundações pontuais constituídas por elementos cilíndricos de betão moldados in situ, através de tubos de revestimento com 500 mm de diâmetro.

Este sistema de apoios pontuais reduz a necessidade de bases contínuas, permitindo que o solo se mantenha praticamente intocado, ao mesmo tempo que assegura a resistência necessária para cargas de utilização intensa. O corrimão em madeira complementa a solução, reforçando a segurança dos utilizadores.

A representação tridimensional do deck torna visível a articulação entre madeira, aço e betão, comunicando com clareza as ligações críticas entre os diferentes componentes e o contacto com o terreno. Esta abordagem traduz-se numa ferramenta eficaz para a pormenorização construtiva, ao garantir instruções rigorosas para a execução e ao evidenciar a capacidade do 3D em superar as limitações da representação bidimensional.

#### 4.1.6. Zonas verdes e plantações

A plantação é uma dimensão central da Arquitetura Paisagista, integrando realidades vivas com dinâmicas temporais complexas. A sua representação técnica deve incluir não apenas a posição das espécies, mas também a estratificação do solo, os sistemas de drenagem e adubação, bem como as técnicas de tutoragem que asseguram o crescimento saudável. O desenho bidimensional raramente capta esta complexidade, reduzindo-a a símbolos ou perfis simplificados.

A modelação tridimensional oferece aqui um contributo decisivo, ao permitir representar volumetricamente as camadas de solo, a posição radicular e os sistemas de suporte. Este nível de detalhe melhora a comunicação entre projetista e construtor, reforçando a consciência técnica sobre as especificidades da vegetação enquanto elemento vivo e assegurando uma tradução mais rigorosa das condições ecológicas e construtivas.



Figura 32- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Caldeira com tutoragem.

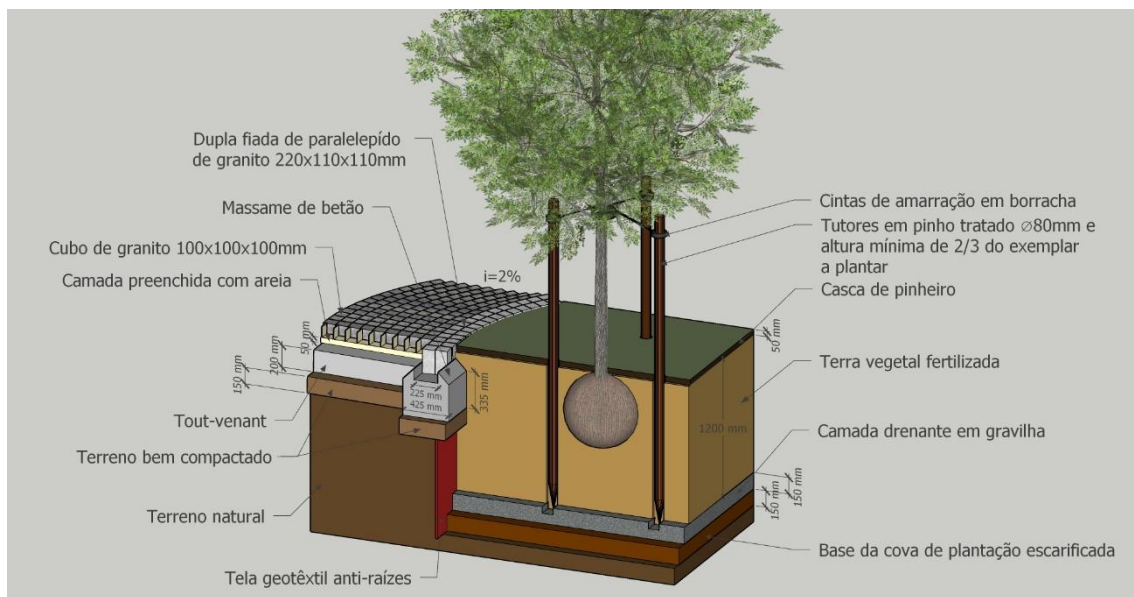


Figura 33- Pormenor Construtivo de Caldeira com tutoragem, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

Este pormenor corresponde à integração de uma árvore em área pavimentada, onde a caldeira funciona como elemento de transição entre o pavimento em cubos de granito e a zona de plantação. Para garantir a estabilidade e o desenvolvimento saudável do exemplar, a solução contempla várias camadas técnicas, assegurando simultaneamente drenagem, nutrição e proteção radicular.

A cova de plantação é escarificada na sua base e integra uma camada drenante em gravilha, essencial para evitar encharcamentos e promover a oxigenação das raízes. Sobre esta é aplicada terra vegetal fertilizada, que garante o aporte nutricional inicial ao crescimento da árvore. A superfície é protegida com cobertura de casca de pinheiro, reduzindo a evaporação e o aparecimento de infestantes.

O sistema de tutoragem é constituído por três tutores em pinho tratado, com altura mínima de dois terços do exemplar a plantar, fixados por cintas de borracha que asseguram estabilidade sem comprometer o crescimento do tronco. A presença de uma tela geotêxtil anti-raízes reforça a proteção da envolvente, prevenindo a deformação do pavimento contíguo.

A caldeira é delimitada por dupla fiada de paralelepípedos de granito assente sobre massame de betão, garantindo a contenção lateral do pavimento e a clareza visual da transição para a área de solo permeável. Esta integração entre sistemas vivos e inertes reflete uma solução tecnicamente equilibrada, onde o 3D permite comunicar a complexidade volumétrica da plantação em articulação com o pavimento e as infraestruturas de suporte.



Figura 34- Vista aproximada do local correspondente ao Pormenor Construtivo de Área Verde com arbustos resistentes à inclinação do terreno.

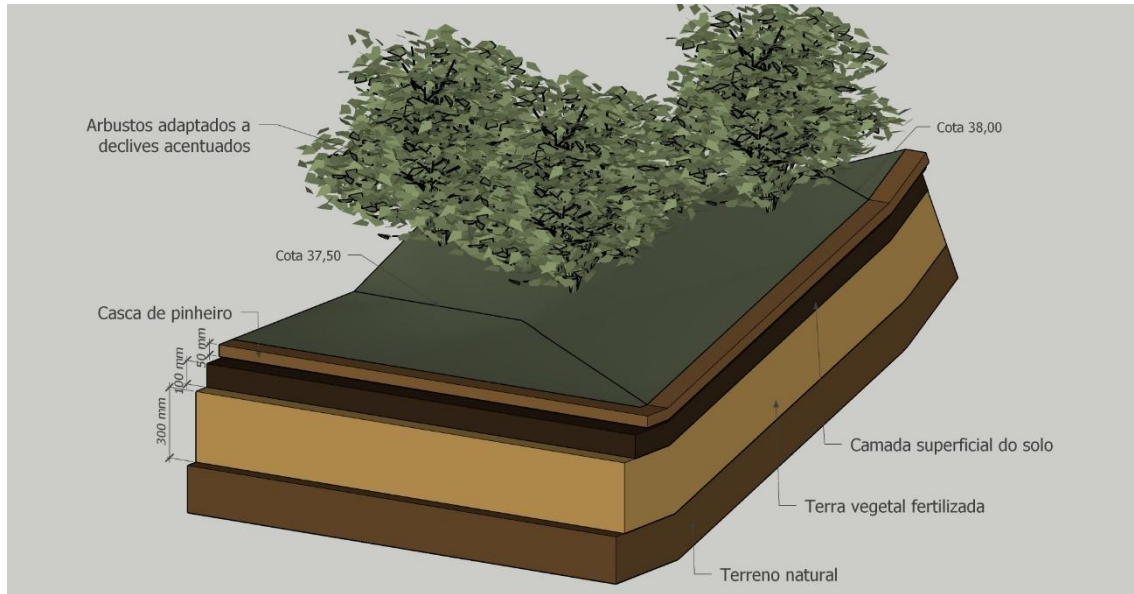


Figura 35- Pormenor Construtivo de Área Verde com arbustos resistentes à inclinação do terreno, desenvolvido com base em detalhe fornecido pelo atelier LJ Group.

Este pormenor corresponde à modelação de uma área verde implantada em talude, onde a inclinação acentuada do terreno constitui um desafio para a estabilização do solo e para a manutenção da vegetação. A solução proposta integra camadas que asseguram a fixação e a proteção do substrato: aplicação de terra vegetal fertilizada sobre o terreno natural, cobertura com tela geotêxtil anti-ervas que limita espécies invasoras e reforça a estabilidade superficial, e acabamento com casca de pinheiro, que protege contra a evaporação e promove integração estética.

A seleção de arbustos é aqui um fator determinante. Optou-se por espécies adaptadas a declives acentuados, de porte baixo a médio e com sistemas radiculares robustos, capazes de fixar o solo e resistir ao escorrimento superficial. Esta escolha assegura não apenas a durabilidade técnica da solução, mas também a sua valorização ecológica e paisagística, transformando uma zona crítica do terreno num elemento de continuidade verde.

Em síntese, estes pormenores demonstram que a representação tridimensional é essencial para comunicar a complexidade das zonas verdes e plantações, garantindo clareza técnica e destacando o papel das espécies vivas na integração e sustentabilidade do espaço projetado.

## 5. Discussão

A investigação realizada ao longo deste trabalho permitiu evidenciar de forma crítica os desafios e as oportunidades associados à fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista. Mais do que uma etapa técnica, esta fase traduz-se num momento decisivo de comunicação entre o conceito projetual e a sua execução em obra, onde a clareza e o rigor das instruções determinam a qualidade final da intervenção.

As representações bidimensionais, tradicionalmente dominantes, continuam a constituir o suporte mais utilizado, mas revelam limitações quando confrontadas com a complexidade dos sistemas paisagísticos. Elementos como solos, vegetação, muros de suporte ou pavimentos implicam relações de espessura, volume e dinâmica que dificilmente se traduzem em cortes ou plantas. A simplificação gráfica inerente ao 2D tende a omitir camadas críticas, abrindo espaço a erros de interpretação em obra.

Neste contexto, a representação tridimensional surge como um passo decisivo de transição entre o 2D convencional e o futuro inevitável do BIM (*Building Information Modeling*). Mais do que uma ferramenta de visualização, o 3D permite construir um modelo que é em si o projeto, do qual podem ser extraídas peças técnicas convencionais — cortes, alçados, plantas — mas também perspectivas e axonometrias que comunicam de forma mais intuitiva. Esta dupla capacidade torna o 3D uma linguagem transversal, capaz de responder tanto às necessidades técnicas de projetistas e construtores como à perceção espacial de clientes e utilizadores.

A experiência prática demonstrou ainda que a vista perspectivada constitui uma vantagem clara em relação a cortes e alçados. Enquanto estes últimos transmitem apenas secções abstratas, a perspectiva aproxima-se da perceção real do espaço, facilitando a compreensão de volumes, transições e relações construtivas. Esta qualidade mostrou-se particularmente relevante no caso de elementos vivos, como a vegetação e o solo, que dificilmente se traduzem em linhas bidimensionais.

Outro resultado relevante foi a constatação de que o 3D pode reorganizar o processo de projeto. A sequência adotada neste estudo — drenagem, pavimentos, estruturas e zonas verdes — mostrou-se não só coerente com a lógica da obra, mas também eficaz na construção de modelos progressivos, onde cada camada se articula com a anterior. Esta abordagem evidencia que o 3D pode assumir uma dimensão metodológica, funcionando como suporte ao raciocínio construtivo.

Do ponto de vista técnico, os modelos 3D demonstraram vantagens adicionais: permitem calcular volumes e medições com rapidez, recurso útil para mapas de trabalhos e cadernos de encargos; reduzem a margem de erro em obra, evitando custos adicionais; e aumentam a durabilidade das soluções ao transmitir instruções construtivas mais claras. Quanto mais detalhado o pormenor, menor a probabilidade de falhas na execução e maior a confiança no resultado final.

Não obstante, é necessário reconhecer as limitações. A modelação tridimensional exige maior investimento de tempo na fase inicial, requer softwares e hardwares dispendiosos e implica uma curva de aprendizagem considerável. Acresce a ausência de bibliotecas específicas para a Arquitetura Paisagista, o que obriga à criação de modelos de raiz e dificulta a normalização da prática.

Apesar destes constrangimentos, a reflexão desenvolvida confirma que a aplicação do 3D à pormenorização construtiva constitui uma oportunidade de inovação e uma necessidade estratégica para a disciplina. A investigação revelou uma lacuna clara: a literatura e a prática profissional em Arquitetura Paisagista ainda exploram pouco o 3D nesta fase do projeto, limitando-o maioritariamente a representações conceptuais ou de apresentação. Este vazio abre espaço para investigação futura e para o desenvolvimento de metodologias próprias, capazes de consolidar a pormenorização tridimensional como parte integrante do processo projetual.

Neste seguimento, a discussão permite afirmar que o 3D, aplicado à pormenorização construtiva, não é apenas um ganho gráfico: trata-se de um instrumento de rigor técnico, de clareza comunicativa e de inovação metodológica. Ao integrar dimensões materiais e vivas, estruturas e sistemas, o modelo tridimensional posiciona-se como ferramenta fundamental para reforçar a qualidade, a sustentabilidade e a relevância da Arquitetura Paisagista num contexto cada vez mais digital e interdisciplinar.

Assim, importa referir que esta forma de representação tridimensional pode ser entendida como uma base para a futura integração em metodologias de *Building Information Modeling* (BIM), que correspondem a uma evolução natural da digitalização no setor do ambiente construído. Ao contrário dos modelos 3D isolados, o BIM acrescenta uma dimensão colaborativa, permitindo associar às geometrias informação técnica, ecológica e temporal. Na Arquitetura Paisagista, esta possibilidade torna-se particularmente relevante, já que permite integrar de forma mais completa elementos vivos e em constante transformação, como solos, vegetação, drenagem ou infraestruturas verdes. A utilização do BIM na paisagem, muitas vezes designada como

Landscape Information Modeling (LIM), garante também uma maior participação dos arquitetos paisagistas nos processos de projeto, ao mesmo tempo que apoia a análise, a gestão e a manutenção de sistemas complexos. Assim, o relatório desenvolvido, centrado na pormenorização construtiva em 3D, não deve ser entendido como um ponto final, mas antes como uma base de partida para uma investigação mais aprofundada em BIM, onde a representação digital se torna uma ferramenta de integração de informação e de apoio à decisão.

## Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo investigar a aplicação da modelação tridimensional (3D) na fase de pormenorização construtiva em Arquitetura Paisagista, testando o seu potencial como linguagem técnica de comunicação entre projetistas, construtores e restantes intervenientes. Através da análise teórica, da revisão de literatura e da aplicação prática num projeto real — o GAIA HILLS – Lote Parque Verde — foi possível demonstrar as oportunidades e limitações da representação tridimensional face às abordagens convencionais bidimensionais (2D).

Os resultados alcançados evidenciam que o 3D acrescenta clareza, rigor e eficiência ao processo de pormenorização construtiva. Ao permitir a visualização volumétrica de materiais, camadas e relações estruturais, o modelo tridimensional reduz ambiguidades que frequentemente surgem em plantas e cortes 2D, garantindo uma comunicação mais direta e intuitiva. Esta vantagem revela-se decisiva tanto para a compreensão por parte de clientes e utilizadores, sem formação técnica específica, como para a articulação entre projetistas e construtores em obra.

A aplicação prática demonstrou também que os modelos tridimensionais potenciam ganhos ao nível da gestão de projeto. A possibilidade de calcular volumes e medições diretamente a partir do modelo facilita a elaboração de mapas de trabalhos e cadernos de encargos, permitindo poupança de tempo e maior precisão na definição de quantidades. Do mesmo modo, quanto mais detalhados forem os modelos, menor a probabilidade de erros em obra, reduzindo custos associados a falhas construtivas e aumentando a durabilidade e a qualidade das soluções implementadas.

Contudo, é necessário reconhecer as limitações atuais desta abordagem. A modelação 3D exige maior tempo de produção inicial, envolve custos acrescidos de software e hardware e requer uma curva de aprendizagem significativa. Além disso, a ausência de bibliotecas tridimensionais específicas para a Arquitetura Paisagista constitui um entrave prático, obrigando a desenvolver modelos de raiz e limitando a normalização da prática profissional.

Apesar destes desafios, o trabalho reforça que a integração progressiva do 3D é um caminho inevitável e necessário para a disciplina. Outras áreas do projeto, como a Arquitetura e a Engenharia Civil, já avançaram no sentido do *Building Information Modeling* (BIM), e a Arquitetura Paisagista não poderá permanecer alheia a esta transição. Os pormenores tridimensionais aqui desenvolvidos — incluindo elementos vivos como solos, vegetação e sistemas de tutoragem — constituem uma base concreta

para que as plataformas BIM integrem de forma mais eficaz as especificidades próprias da disciplina, até agora pouco representadas nestes sistemas.

Assim, conclui-se que a modelação tridimensional, aplicada à pormenorização construtiva, não é apenas uma mais-valia pontual, mas um recurso estratégico que antecipa a transição para o BIM e abre caminho para uma Arquitetura Paisagista mais inovadora, rigorosa e sustentável. Ao conjugar clareza comunicativa, rigor técnico e potencial metodológico, esta abordagem posiciona-se como um contributo relevante para reforçar a qualidade da prática profissional e preparar a disciplina para os desafios de um futuro digital integrado.

## Referências Bibliográficas

Badino, E., Shtrepi, L., & Astolfi, A. (2020). Acoustic performance-based design: A brief overview of the opportunities and limits in current practice. *Acoustics*, 2(2), 246–278. <https://doi.org/10.3390/acoustics2020016>

Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005). Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction*, 14(3), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.012>

Burns, T. (2020). Practical considerations for the remediation of 3D CAD into visual technical communication. 2020 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm), 105–112. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ProComm48883.2020.00022>

Cheng, C., Brabec, E. A., Yang, Y.-C. E., & Ryan, R. L. (2014). Rethinking stormwater management in a changing world: Effects of detention for flooding hazard mitigation under climate change scenarios in the Charles River watershed. *Landscape Research Record*, 1, 214–228.

Clayden, A. (2013). Construction for landscape architecture [Review of the book *Construction for Landscape Architecture*, by R. Holden & J. Liversedge]. *Landscape Research*, 38(5), 685–686. <https://doi.org/10.1080/01426397.2013.866361>

Cory, C. A. (2001). Utilization of 2D, 3D, or 4D CAD in construction communication documentation. *Proceedings of the 2001 31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education* (pp. T3D–19–T3D–24). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2001.963927>

Dadi, G. B., Goodrum, P. M., Taylor, T. R. B., & Maloney, W. F. (2014). Effectiveness of communication of spatial engineering information through 3D CAD and 3D printed models. *Visualization in Engineering*, 2, 9. <https://doi.org/10.1186/2213-7459-2-9>

Danilewsky, A. N. (2020). X-ray topography—More than nice pictures. *Crystal Research and Technology*, 55(5), e2000012. <https://doi.org/10.1002/crat.202000012>

De Chiara, J., Panero, J., & Zelnik, M. (2001). *Time-saver standards for building types* (4th ed.). McGraw-Hill.

Delarue, F., Cornu, S., Daroussin, J., Salvador-Blanes, S., Bourennane, H., Albéric, P., Vennink, A., Bruand, A., & King, D. (2009). 3D representation of soil distribution: An approach for understanding pedogenesis. *Comptes Rendus Geoscience*, 341(6), 486–494. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.04.004>

Dreiseitl, H., Grau, D., & Wanschura, B. (2011). *Constructing landscape: Materials, techniques, structural components*. Basel: Birkhäuser.

El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 34. <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00038-w>

Ervin, S. M. (2001). Landscape visualization: Progress and prospects. In *Proceedings of Digital Landscape Architecture 2001* (pp. 253–264). Anhalt University of Applied Sciences.

Ervin, S. M. (2020). A brief history and tentative taxonomy of digital landscape architecture. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 5, 2–11. <https://doi.org/10.14627/537690001>

Fakhoury, R. S. (2018). A aplicação das imagens tridimensionais digitais como meio de comunicação visual entre arquiteto e cliente [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”]. UNESP.

Gazvoda, D. (2002). Characteristics of modern landscape architecture and its education. *Landscape and Urban Planning*, 60(2), 117–133. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00064-6)

Gerke, H. H., Vogel, H.-J., Weber, T. K. D., van der Meij, W. M., & Scholten, T. (2022). 3–4D soil model as challenge for future soil research: Quantitative soil modeling based on the solid phase. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(6), 720–744. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200239>

Jimenez, L., Hippolyte, J.-L., Robert, S., Suard, F., & Zreik, K. (2015). Review: Reconstruction of 3D building information models from 2D scanned plans. *Journal of Building Engineering*, 2, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.04.002>

Grunwald, S. (2009). Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma*, 152(3–4), 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.003>

Grazuleviciute-Vileniske, I., Zaleskiene, E., & Veinberga, M. (2016). Framework for understanding and analysis of rural-urban interface areas and other relatively unknown landscapes: Cultural ecology perspective. *Landscape Architecture and Art*, 8(8), 7–19.

Herbert, G., & Chen, X. (2015). A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(1), 22–32. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.987694>

Hoffmann, C. M. (1989). How solid is solid modeling? In M. J. Wozny, H. W. McLaughlin, & J. L. Encarnacao (Eds.), *Geometric modeling for CAD applications* (pp. 1–18). Springer. <https://doi.org/10.1007/BFb0014475>

Intwala, A. M., & Magikar, A. (2016). A review on process of 3D model reconstruction. In 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) (pp. 1692–1696). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7754982>

Kastuari, A., Suwardhi, D., Hanan, H., & Wikantika, K. (2016). State of the art of the landscape architecture spatial data model from a geospatial perspective. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W1, 63–70. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W1-63-2016>

Kolodney, Z. (2012). Between knowledge of landscape production and representation. *The Journal of Architecture*, 17(1), 97–118. <https://doi.org/10.1080/13602365.2012.659913>

Koussa, C., & Koehl, M. (2009, March). A simplified geometric and topological modeling of 3D buildings: Combination of surface-based and solid-based representations. In *ASPRS 2009 Annual Conference*. Baltimore, MD, USA.

Kowe, P., Mutanga, O., & Dube, T. (2021). Advancements in the remote sensing of landscape pattern of urban green spaces and vegetation fragmentation. *International*

Journal of Remote Sensing, 42(10), 3797–3832.  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1881185>

Lameiras, J. M. E. (2018). Modelação digital do terreno em arquitetura paisagista: Interação e visualização [Tese de doutoramento, Universidade do Porto]. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências.

Lehmkuhler, S. (2001). Landscape planning and visualisation – World Construction @ Frankfurt. In CORP 2001: Proceedings of the 6th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (pp. 237–244). Vienna University of Technology.

Li, S., Yang, B., & Yan, J. (2014). 3D digital graphics in landscape architecture professional practice: Current conditions in a nutshell. *Landscape Research Record*, 1, 2–10.

Li, X., McCarty, G. W., Du, L., & Lee, S. (2020). Use of topographic models for mapping soil properties and processes. *Soil Systems*, 4(2), 32.  
<https://doi.org/10.3390/soilsystems4020032>

McDaniel, R. (2009). Making the most of interactivity online version 2.0: Technical communication as procedural architecture. *Technical Communication*, 56(4), 370–386.

Moural, A., Nordh, H., & Hassan, R. (2018). Tools for planning, design and communication in landscape architecture: From conventional approaches to virtual reality. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 3, 163–171.  
<https://doi.org/10.14627/537642017>

Nessel, A. (2013). The place for information models in landscape architecture, or a place for landscape architects in information models. In E. Buhmann, S. M. Ervin, & M. Pietsch (Eds.), *Peer reviewed proceedings of digital landscape architecture 2013 at Anhalt University of Applied Sciences* (pp. 65–72). Herbert Wichmann Verlag.

Nilsson, B. L. (2021). Possibilities and challenges of city planning using 3D visualization: A systematic literature review on the possibilities of city visualization using 3D computer graphics and the utility of parametric design [Bachelor's thesis, Blekinge Institute of Technology]. DiVA Portal.

Noël, F., Nguyen Ba, A. N., & Sadeghi, S. (2015). Qualitative comparison of 2D and 3D perception for information sharing dedicated to manufactured product design. *International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics (CAD/Graphics)* (pp. 83–90). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CADGraphics.2015.79>

Olatunji, O. A., Sher, W. D., Gu, N., & Ogunsemi, D. R. (2010). Building information modelling processes: Benefits for construction industry. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 10(1–2), 1–23.  
<https://doi.org/10.5130/ajceb.v10i1-2.1478>

Paiva, L., Pinho-Lopes, M., Paula, A. M., & Valente, R. (2024). 3D numerical modeling of geosynthetics for soil reinforcement: A bibliometric analysis and literature review. *Geotechnics*, 4(2), 673–692. <https://doi.org/10.3390/geotechnics4020036>

Qian, Y., Lu, Z., & Dou, W. (2014). From 2D to 3D NoCs: A case study on worst-case communication performance. *Proceedings of the 51st Annual Design Automation Conference (DAC '14)*, 1–6. ACM. <https://doi.org/10.1145/2593069.2593191>

- Raaphorst, K., Duchhart, I., van der Knaap, W., Roeleveld, G., & van den Brink, A. (2017). The semiotics of landscape design communication: Towards a critical visual research approach in landscape architecture. *Landscape Research*, 42(1), 120–133. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1257706>
- Raaphorst, K., van der Knaap, W., van den Brink, A., & Roeleveld, G. (2019). Visualization, participation and rhetoric: The discursive power of landscape design representations in participatory processes. *Journal of Landscape Architecture*, 14(2), 42–53. <https://doi.org/10.1080/18626033.2019.1673569>
- Rezayat, M. (1996). Midsurface abstraction from 3D solid models: General theory and applications. *Computer-Aided Design*, 28(11), 905–915. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(96\)00018-8](https://doi.org/10.1016/0010-4485(96)00018-8)
- Rodrigues, S. da R., Sztajnberg, A., Costa, R. M. E. M., & Bittar, W. S. M. (2013). Criando modelos tridimensionais para inclusão de requisitos de acessibilidade em projetos arquitetônicos. *Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, 20(34), 240–259. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v20i34p240-259>
- Salleh, S., & Ujang, U. (2023). Current uses of topology in 3D GIS: An overview. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1274(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1274/1/012007>
- Sender Contell, M., & Iñarra Abad, S. (2019). Graphic styles for the representation of the landscape. *Disegnarecon*, 12(22), 26.1–26.14. <https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/570>
- Shiode, N. (2001). 3D urban models: Recent developments in the digital modelling of urban environments in three-dimensions. *GeoJournal*, 52(3), 263–269. <https://doi.org/10.1023/A:1014276309416>
- Slabeciusová, B. (2015). 2D and 3D modelling in landscape architecture. *Landscape Architecture and Art*, 7(7), 87–95.
- Sohrabi GharehTappeh, Z., & Peng, Q. (2021). Simplification and unfolding of 3D mesh models: Review and evaluation of existing tools. *Procedia CIRP*, 100, 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.023>
- Sung, Y.-T., Shih, P.-C., & Chang, K.-E. (2015). The effects of 3D-representation instruction on composite-solid surface-area learning for elementary school students. *Instructional Science*, 43(1), 115–145. <https://doi.org/10.1007/s11251-014-9331-8>
- Treib, M., & Corner, J. (2013). *Visual communication for landscape architecture*. London: AVA Publishing.
- van Dooren, N., & Nielsen, A. B. (2019). The representation of time: Addressing a theoretical flaw in landscape architecture. *Landscape Research*, 44(8), 997–1013. <https://doi.org/10.1080/01426397.2018.1549655>
- Waldheim, C. (2016). Landscape as urbanism: A general theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(1), 163–165. <https://doi.org/10.1177/0265813516677112>

Yan, J. (2014). An evaluation of current applications of 3D visualization software in landscape architecture [Master's thesis, Utah State University]. All Graduate Theses and Dissertations, 3882. <https://digitalcommons.usu.edu/etd/3882>

Zavarise, G., & Wriggers, P. (Eds.). (2011). Trends in computational contact mechanics (Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Vol. 58). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22167-5>

Zhao, X. (2021). Application of 3D CAD in landscape architecture design and optimization of hierarchical details. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(S1), 120–132. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.S1.120-132>

Zlatanova, S., & Prosperi, D. (2005). Large-scale 3D data integration: Challenges and opportunities. In P. van Oosterom, S. Zlatanova, & E. M. Fendel (Eds.), *Geo-information for disaster management* (pp. 381–400). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-27468-5\\_2](https://doi.org/10.1007/3-540-27468-5_2)