

MODELAÇÃO BIM EM PROJETOS DE PONTES E VIADUTOS

VIVIANE NADINE FORTES DOS REIS
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Especialização de Estruturas

Orientadores:

Mestre, Especialista João Carlos dos Santos Barata
Mestre, João Carlos Silva Neves de Carvalho

Júri:

Presidente: Doutora Paula Raquel Pires da Cunha Lamego

Vogais:

Mestre, Especialista João Carlos dos Santos Barata
Doutor Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Dezembro de 2025

MODELAÇÃO BIM EM PROJETOS DE PONTES E VIADUTOS

VIVIANE NADINE FORTES DOS REIS
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Especialização de Estruturas

Orientadores:

Mestre, Especialista João Carlos dos Santos Barata (ISEL - IPL)
Mestre, João Carlos Silva Neves de Carvalho (Quadrante Global)

Júri:

Presidente: Doutora Paula Raquel Pires da Cunha Lamego (ISEL - IPL)
Vogais:
Mestre, Especialista João Carlos dos Santos Barata (ISEL - IPL)
Doutor Luciano Alberto do Carmo Jacinto (ISEL - IPL)

Dezembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa pela oportunidade de realização deste trabalho no âmbito do Mestrado em engenharia civil.

Aos meus orientares, agradeço a orientação científica, a disponibilidade e os valiosos contributos que foram determinantes para a conclusão desta dissertação.

Um agradecimento à empresa Quadrante Global, que me proporcionou condições para desenvolver parte desta investigação em contexto profissional disponibilizando meios técnicos e partilhando experiências fundamentais para o progresso do estudo.

Reconheço ainda o apoio de todos os colegas e profissionais com quem tive a oportunidade de colaborar ao longo deste percurso, cuja partilha de conhecimentos contribuiu para enriquecer o presente trabalho.

Finalmente, expresso a minha profunda gratidão à minha família e amigos, pelo incentivo constante, paciência e compreensão, que foram essenciais para alcançar este objetivo.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

Virriane Nadine Fortes dos Reis

Lisboa, 24 novembro 2025

Statement of integrity

I declare that this dissertation / project work / internship report is the result of my personal and independent research. Its content is original, and all sources listed in the bibliographic references were consulted and are duly mentioned in the text. I further declare that all scientific and technical references relevant to the development of the work are duly cited and included in the bibliographic references.

The author

Virriane Nadine Fortes dos Reis

Lisbon, 24 november 2025

RESUMO

A crescente digitalização no setor da engenharia civil tem impulsionado a adoção do *Building Information Modeling* (BIM) em projetos de obras de arte, proporcionando melhorias na precisão, eficiência e integração das diferentes especialidades.

A presente dissertação tem como objetivo analisar a aplicação da metodologia BIM na modelação paramétrica de um viaduto e na modelação tridimensional de armaduras, combinando uma revisão bibliográfica com a implementação prática no *software Allplan (Bridge e Engineering)*, de modo a avaliar o potencial destas ferramentas digitais para apoiar o desenvolvimento de soluções estruturais e a sua documentação técnica.

A investigação desenvolveu-se em duas vertentes complementares. Numa primeira fase, procedeu-se à modelação geométrica de um viaduto no *Allplan Bridge*, comparando duas soluções construtivas para o tabuleiro: vigas betonadas *in situ* e vigas pré-fabricadas. Numa segunda fase, foi detalhada a modelação das armaduras de um pilar no *Allplan Engineering*, explorando diferentes métodos de criação e distribuição de barras, com destaque para as armaduras variáveis em geometrias complexas. Foram também desenvolvidas etiquetas paramétricas (labels) e listas automáticas de aço, que asseguram consistência entre o modelo tridimensional e os elementos de projeto necessários à execução.

Os resultados obtidos evidenciam a aplicabilidade do BIM na modelação de viadutos, não apenas enquanto ferramenta de conceção e verificação, mas também como suporte ao processo construtivo, permitindo reduzir erros, otimizar quantitativos e melhorar a qualidade da informação técnica. A originalidade do trabalho reside na aplicação prática da metodologia BIM a um caso real de um viaduto, demonstrando os desafios e vantagens da modelação paramétrica e da representação detalhada das armaduras de um elemento estrutural (pilar) em ambiente digital.

Palavras-chave: BIM (Building Information Modeling), Viadutos, Allplan Bridge, Modelação de armaduras e Modelação paramétrica.

ABSTRACT

The increasing digitalization of the civil engineering sector has driven the adoption of *Building Information Modeling* (BIM) in bridge and viaduct projects, enhancing precision, efficiency, and interdisciplinary coordination.

This dissertation aims to analyze the application of BIM methodology in the parametric modeling of a viaduct and the three-dimensional reinforcement modeling, combining a literature review with the practical implementation of the Allplan software (*Bridge* and *Engineering*). The goal is to assess the potential of these digital tools to support the development of structural design solutions and their corresponding technical documentation.

The research was developed in two complementary stages. In the first stage, a geometric model of a viaduct was created in *Allplan Bridge*, comparing two construction solutions for the deck: cast-in-place beams and precast beams. In the second stage, the reinforcement modeling of a pier was carried out in *Allplan Engineering*, exploring different methods for bar creation and distribution, with particular emphasis on variable reinforcement layouts in complex geometries. Additionally, parametric labels and automated steel schedules were developed to ensure consistency between the 3D model and the project documentation required for construction.

The results highlight the applicability of BIM in viaduct modeling, not only as a design and verification tool but also as an aid to the construction process, enabling error reduction, optimization of material quantities, and improvement in the quality of technical information. The originality of this work lies in the practical application of the BIM methodology to a real viaduct project, demonstrating both the challenges and advantages of parametric modeling and detailed reinforcement representation within a digital environment.

Keywords: BIM (Building Information Modeling); Viaducts; Allplan Bridge; Reinforcement Modeling; Parametric Modeling

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento do trabalho.....	1
1.2	Motivação e Objetivos do Estudo.....	2
1.3	Metodologia.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho.....	4
2	BIM EM OBRAS DE ARTE.....	7
2.1	Considerações Gerais.....	7
2.2	Desafios Associados ao Projeto de Obras de Arte.....	8
2.2.1	Principais Condicionantes em Projetos de Obras de Arte.....	9
2.2.2	Processo de Conceção de Obras de Arte.....	12
2.2.3	Desafios de um Projeto de Obras de Arte em Metodologia BIM.....	13
2.3	Metodologia de Produção em Gabinetes de Engenharia.....	14
2.4	Exemplos de Projetos já existentes.....	19
2.4.1	Projeto Ferroviário da Nigéria: Padronização e Eficiência.....	19
2.4.2	Linha Rubi do Metro do Porto: Integração Multidisciplinar.....	21
3	CASO DE ESTUDO 1 – MODELAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM VIADUTO NO ALLPLAN BRIDGE.....	23
3.1	Caraterização do Projeto.....	23
3.2	Modelação Geométrica.....	27
3.2.1	Inputs Viários.....	27
3.2.2	Metodologia da Ferramenta de Modelação.....	28
3.2.3	Modelação.....	29
3.2.4	Principais Desafios.....	62
3.3	Produção de Desenhos.....	64
4	CASO DE ESTUDO 2 – MODELAÇÃO DE ARMADURAS DE UM PILAR....	69
4.1	Considerações Gerais.....	69
4.2	Regulamentos.....	71
4.3	Critérios de Dimensionamento.....	72
4.3.1	Tempo de Vida Útil.....	72
4.3.2	Materiais.....	72
4.3.3	Critérios de Verificação de Segurança.....	72
4.4	Cargas adotadas.....	75
4.4.1	Ações Permanentes.....	75
4.4.2	Ações Variáveis.....	80

4.4.3	Força de Atrito	96
4.4.4	Ação Sísmica.....	96
4.5	Caracterização e Dimensionamento do Pilar a analisar	98
4.5.1	Caracterização.....	98
4.5.2	Dimensionamento.....	100
4.6	Modelação de Armaduras no <i>Allplan</i>	106
4.6.1	Definição Geométrica	107
4.6.2	Secções Associativas	107
4.6.3	Modelação das Armaduras do Pilar	109
4.6.4	Criação de Etiquetas (<i>labels</i>) e Listagem das Armaduras	124
5	CONCLUSÕES.....	135
5.1	Principais Conclusões.....	135
5.2	Perspetivas Futuras	136
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – Etapas de um projeto em BIM	8
Figura 2-2 – Elementos constituintes das pontes	13
Figura 2-3 – Estrutura do Plano de Execução BIM	15
Figura 2-4 – “Level of Development” dum modelo de viga transversal	17
Figura 2-5 – Exemplo da modelação de uma ponte no Allplan Bridge	19
Figura 2-6 – Modelo 3D de uma ponte e sua respetiva armadura	20
Figura 2-7 – Modelo 3D de uma passagem inferior e o terreno circundante no Allplan Bridge.	21
Figura 2-8 – Exemplo de um modelo 3D de um viaduto no Allplan Bridge.....	21
Figura 2-9 – Viaduto modelado no <i>Allplan Bridge</i>	22
Figura 2-10 – Modelo 3d de uma passagem inferior.....	22
Figura 3-1 – Perspetiva tridimensional	23
Figura 3-2 – Corte longitudinal	23
Figura 3-3 – Corte transversal do tabuleiro e geometria das vigas	24
Figura 3-4 – Pilares Correntes.....	25
Figura 3-5 – Pilares centrais.....	25
Figura 3-6 – Perspetiva 3D dos pilares centrais em delta e pilares correntes, respetivamente	26
Figura 3-7 – Caraterísticas geométricas da fundação dos pilares correntes.....	26
Figura 3-8 – Caraterísticas geométricas da fundação dos pilares centrais (Deltas).....	27
Figura 3-9 – Eixo em planta fornecido pelo projeto viário	29
Figura 3-10 – Criação e parametrização do eixo em planta no <i>Allplan Bridge</i>	30
Figura 3-11 – Definição do Perfil Longitudinal	31
Figura 3-12 – Criar uma secção transversal.....	32
Figura 3-13 – Distâncias para definir as linhas verticais	33
Figura 3-14 – Definição das linhas verticais do lado esquerdo da secção transversal.....	33
Figura 3-15 – Definição das linhas verticais do lado direito da secção transversal.....	34
Figura 3-16 – Linhas verticais obtidas	34
Figura 3-17 – Criação das linhas inclinadas com variações	35
Figura 3-18 – Distâncias entre linhas inclinadas.....	35
Figura 3-19 – Distâncias para definir as linhas horizontais	36
Figura 3-20 – Linhas auxiliares e pontos utilizados para definir contorno da secção transversal	36
Figura 3-21 – Criação do contorno da secção com a ferramenta <i>Boundary</i>	37

Figura 3-22 – Conversão do contorno em elementos estruturais através da ferramenta Structural Units.....	37
Figura 3-23 – Secção corrente final e pontos de referência para as vigas.....	37
Figura 3-24 – Pontos de controlo das vigas em função da inclinação da secção	37
Figura 3-25 – Secção corrente Inclinada	38
Figura 3-26 – Secção sobre pilares com inclinação para Este.....	38
Figura 3-27 – Secção sobre pilares com inclinação para Oeste	38
Figura 3-28 – Geometria das vigas pré-fabricadas	39
Figura 3-29 – Linhas de referência para a secção das vigas.....	39
Figura 3-30 – Definição das linhas variáveis	40
Figura 3-31 – Criação do boundary e atribuição da unidade estrutural.....	40
Figura 3-32 – Definição dos gráficos de variação da sobrelevação do tabuleiro do lado Este e Oeste	41
Figura 3-33 – Gráficos de variações para as vigas do PA – L = 19.92 m (larg_viga1 e larg_viga2)	42
Figura 3-34 – Gráficos de variações para as vigas do P B – L = 20.72 m (larg_viga1 e larg_viga2)	43
Figura 3-35 – Linhas de controlo para parametrização da largura das vigas ao longo do tabuleiro.	44
Figura 3-36 – Tabuleiro in situ	44
Figura 3-37 – Secção corrente do tabuleiro <i>in situ</i>	45
Figura 3-38 – Secção sobre pilares, inclinação Este do tabuleiro <i>in situ</i>	45
Figura 3-39 – Secção sobre pilares, inclinação Oeste do tabuleiro <i>in situ</i>	45
Figura 3-40 – Secção das estacas dos pilares correntes.....	46
Figura 3-41 – Secção dos maciços dos pilares correntes.....	46
Figura 3-42 – secção do fuste dos pilares correntes	46
Figura 3-43 – secção da travessa dos pilares correntes.....	46
Figura 3-44 – Secção das estacas dos pilares delta.....	46
Figura 3-45 – Secção dos maciços dos pilares delta	46
Figura 3-46 – secção do fuste dos pilares delta	46
Figura 3-47 – secção da travessa dos pilares delta	46
Figura 3-48 – Variação geométrica da travessa dos pilares correntes.....	47
Figura 3-49 – Linha de controlo para definição da variação da travessa dos pilares correntes.	47
Figura 3-50 – Gráfico de variação da altura da travessa dos pilares correntes.....	47
Figura 3-51 – Variação do fuste e travessa dos pilares delta.....	48

Figura 3-52 – Linha de controlo para definição da inclinação dos fustes dos pilares em delta.	48
Figura 3-53 – Linha de controlo para definição da inclinação da travessa dos pilares em delta.	48
Figura 3-54 – Gráfico de variação da inclinação do fuste dos pilares em delta.....	48
Figura 3-55 – Gráfico de variação da inclinação da travessa dos pilares em delta.....	48
Figura 3-56 – Secções transversais dos encontros no <i>Allplan Bridge</i>	49
Figura 3-57 – Linha de controlo para definição da variação da altura dos encontros.....	50
Figura 3-58 – Gráfico de variação da altura do encontro C0	50
Figura 3-59 – Gráfico de variação da altura do encontro C16.....	50
Figura 3-60 – Criação do modelo 3D do tabuleiro pré-fabricado no <i>Allplan Bridge</i>	52
Figura 3-61 – Criação do modelo 3D das vigas pré-fabricadas no <i>Allplan Bridge</i>	54
Figura 3-62 – Modelo 3D do tabuleiro com as vigas pré-fabricadas	55
Figura 3-63 – Criação do modelo 3D do tabuleiro <i>in situ</i> no <i>Allplan Bridge</i>	56
Figura 3-64 – Criação do pilar padrão	57
Figura 3-65 – Pilar padrão corrente e delta, respetivamente	58
Figura 3-66 – Inserção dos pilares no modelo 3D do viaduto através da função <i>New Pier From Template</i>	59
Figura 3-67 – Modelo 3D do tabuleiro com os pilares.....	59
Figura 3-68 – Criação do modelo 3D do encontro	60
Figura 3-69 – Criação das estacas dos encontros.....	61
Figura 3-70 – Modelação 3D das estacas dos encontros	62
Figura 3-71 – Modelo 3D do viaduto.....	62
Figura 3-72 – Definição dos <i>offsets</i> das vigas pré-fabricadas.....	64
Figura 3-73 – Importação do modelo do <i>Allplan Bridge</i> para o <i>Allplan Engineering</i>	65
Figura 3-74 – Organização dos <i>drawing files</i> no <i>Allplan Engineering</i>	65
Figura 3-75 – Exemplo de preparação de desenho para layout.....	66
Figura 3-76 – Montagem de desenhos	67
Figura 4-1 – Localização da Via-férrea e Autoestrada em imagem de satélite.....	69
Figura 4-2 – Planta esquemática da ferrovia	69
Figura 4-3 – Alçado esquemático da ferrovia.....	70
Figura 4-4 – Modelo 3D da obra.....	70
Figura 4-5 – Modelo de Carga 71 e valores característicos das cargas verticais.....	81
Figura 4-6 – Modelo de SW0/SW2 e valores característicos das cargas verticais	81
Figura 4-7 – Coeficiente de exposição C_e para treliça (vermelho) e tabuleiro de betão (verde)	85
Figura 4-8 – Secção Transversal esquemática	85

Figura 4-9 – Elemento inferior (1) e barreira acústica (2) à esquerda e restante área da treliça (3) à direita.....	86
Figura 4-10 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx}	87
Figura 4-11 - Elemento inferior (1) e barreira acústica + comboio (2)	88
Figura 4-12 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx}	88
Figura 4-13 – Cálculo do coeficiente de força C_{fz} – vento vertical - treliça.....	89
Figura 4-14 – Secção transversal esquemática – tabuleiro de betão.....	90
Figura 4-15 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx} – tabuleiro de betão sem tráfego ferroviário	91
Figura 4-16 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx} – Tabuleiro de betão com tráfego ferroviário	92
Figura 4-17 – Cálculo do coeficiente de força C_{fz} – vento vertical – tabuleiro de betão	93
Figura 4-18 – Espectro de Resposta Elástico.....	97
Figura 4-19 – Elementos integrantes da obra.....	98
Figura 4-20 – Perspetiva 3D do PC1	99
Figura 4-21 – PC1 – Planta	99
Figura 4-22 – PC1 – Corte Longitudinal	99
Figura 4-23 – Modelo de Cálculo PC1	100
Figura 4-24 – Definição da altura livre do pilar e das condições de apoio.....	100
Figura 4-25 – Armadura de flexão	101
Figura 4-26 – Diagrama de iteração N-M	102
Figura 4-27 – Armadura de esforço transverso na direção y	103
Figura 4-28 – Parâmetros para verificação do esforço transverso na direção y.....	103
Figura 4-29– Armadura de esforço transverso na direção z	103
Figura 4-30 – Parâmetros para verificação de esforço transverso na direção z.....	104
Figura 4-31 – Diagrama de extensões e tensões no betão.....	105
Figura 4-32 – Diagrama de extensões e tensões no aço.....	105
Figura 4-33 – Criar secções associativas no Allplan.....	108
Figura 4-34 – Corte em planta e alçado	109
Figura 4-35 – Ajuste dos cortes	109
Figura 4-36 – Definição, Distribuição e visualização 3D das N3, N4 e N5	111
Figura 4-37 – Definição da geometria e Distribuição das barras N7, N8, N9, N10, N15, N16, N18, N20 e N21.....	112
Figura 4-38 – Visualização 3D das Barras N7, N8, N9, N10, N15, N16, N18, N20 e N21... ..	113
Figura 4-39 – Definição das barras N11, N12, N13 e N22	113
Figura 4-40 – Distribuição e visualização 3D das barras longitudinais da parede exterior N11, N12, N13 e N22.....	114

Figura 4-41 – Disposição das barras N1, N2, N3, N4 e N5.....	115
Figura 4-42 – Linha de referência para a definição da barra N1/N2.....	116
Figura 4-43 – Conversão das linhas de referência na barra N1	117
Figura 4-44 – Distribuição e visualização 3D das barras N1 e N2	118
Figura 4-45 – Verificação do número de pontos das barras.....	118
Figura 4-46 – Definição da Geometria das barras N6 e N14	119
Figura 4-47 – Distribuição e visualização 3D das barras transversais das paredes interiores (N6 e N14).....	120
Figura 4-48 – Geometria e distribuição da barra N15	121
Figura 4-49 – Criação das barras variáveis (N17) com a ferramenta split bar	121
Figura 4-50 – Barras variáveis obtidas (N17) a partir do split bars	122
Figura 4-51 – Visualização 3D das barras N17 e N19	123
Figura 4-52 – Representação tridimensional das armaduras longitudinais e transversais do pilar PC1	123
Figura 4-53 – Criação de etiqueta do tipo <i>Pointer</i> para identificação de armaduras no <i>Allplan</i>	125
Figura 4-54 – Criação de etiqueta do tipo <i>fan</i> , <i>comb</i> e <i>dimension line</i> para identificação de armaduras no <i>Allplan</i>	125
Figura 4-55 – Comando <i>modify placement display mode</i> para simplificar a visualização no <i>Allplan</i>	126
Figura 4-56 – Corte em planta das armaduras do pilar PC1 com etiquetas associadas	127
Figura 4-57 – Corte vertical do pilar PC1 com representação das armaduras e etiquetas..	128
Figura 4-58 – Comando utilizado para criar os dados a apresentar na tabela	129
Figura 4-59 – Tabela 2D utilizada para criar a tabela de armaduras	129
Figura 4-60 – Definição dos outputs da tabela através de atributos.....	130
Figura 4-61 – Definição dos outputs da tabela através de fórmulas.....	130
Figura 4-62 – Definição dos outputs da tabela através de gráficos.....	130
Figura 4-63 – Comando utilizado para criar a tabela	131
Figura 4-64 – Definição do título e linhas da tabela	131
Figura 4-65 – Guardar tabela	131
Figura 4-66 – Inserir a tabela de armaduras.....	132
Figura 4-67 – Tabelas automáticas de armaduras	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 – Exemplo de tabela de estações para o tabuleiro pré-fabricado	53
Tabela 3-2 – Aplicação de secções ao longo do desenvolvimento longitudinal da obra com tabuleiro pré-fabricado.....	53
Tabela 3-3 – Atribuição das sobrelevações ao tabuleiro pré-fabricado	53
Tabela 3-4 – Tabela de estações definidas para as vigas pré-fabricadas no <i>Allplan Bridge</i> ..	55
Tabela 3-5 – Associação das secções transversais a cada estação das vigas pré-fabricadas	55
Tabela 3-6 – Atribuição das variações geométricas às vigas pré-fabricadas.....	55
Tabela 3-7 – Tabela de estações para o pilar corrente padrão.....	58
Tabela 3-8 – Tabela de secções associada a cada estação do pilar corrente padrão	58
Tabela 3-9 – Atribuição de variações ao pilar corrente padrão.....	58
Tabela 3-10 – Tabela de estações para os encontros.....	61
Tabela 3-11 – Tabelas de secções transversais dos encontros.....	61
Tabela 3-12 – Atribuição da variação para a altura do encontro	61
Tabela 4-1 – Coeficientes de redução Ψ	75
Tabela 4-2 – Coeficiente K_h	76
Tabela 4-3 – Coeficientes $ads1$ e $ads2$	77
Tabela 4-4 - Coeficiente α	79
Tabela 4-5 – Determinação do valor da retração	80
Tabela 4-6 – Determinação do valor da fluência	80
Tabela 4-7 – Modelo de Carga SW0/SW2 – valores de q_{yk} , a e c	81
Tabela 4-8 – Determinação do coeficiente de comportamento	82
Tabela 4-9 – Valores da Força Centrífuga para cada Modelo de Carga.....	84
Tabela 4-10 – Tabela 6.1 da norma EN 1991-1-5	94
Tabela 4-11 – Tabela 6.2 da norma EN 19.....	95
Tabela 4-12 – Parâmetros para determinar o espectro de resposta horizontal	97
Tabela 4-13 – Parâmetros para determinar o espectro de resposta vertical	97
Tabela 4-14 – Esforços determinantes para o dimensionamento do fuste do pilar PC1.....	101
Tabela 4-15 – Verificação da flexão	102
Tabela 4-16 – Verificação do esforço transversal na direção y	103
Tabela 4-17 – Verificação do esforço transversal na direção z	104
Tabela 4-18 – Verificação da abertura de fendas da secção.....	105
Tabela 4-19 – Verificação do estado limite de tensões	106
Tabela 4-20 – Comprimento de amarração de varões	110
Tabela 4-21 – Comprimento de sobreposição de varões.....	110

Tabela 4-22 – Tipo de label (adaptado de Allplan (2025)).....124

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SIGLAS

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BEP	BIM Execution Plan
BIM	Building Information Modeling
BMP	Building Information Modeling
BrIM	Bridge Information Modeling
EC	Eurocódigo
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Utilização
EN	Norma Europeia
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of Development
LOI	Level of Information
LOIN	Level of Information Need
MDT	Modelo Digital do Terreno
PxP	BIM Project Execution
PTV	BIM Project Execution
PIV	Ponto de Interseção das Tangentes
RH	Humidade Relativa

ALFABETO ROMANO

A_c	Área da secção transversal de betão
a_{gR}	Valor de referência da aceleração máxima
A_{ref}	Área de referência
b	Largura
C_d	Valor nominal ou uma função dos valores de cálculo de certas propriedades dos materiais
C_e	Coefficiente de exposição
c_{fx}	Coefficientes de pressão
E_C	Módulo de elasticidade tangente na origem, $\alpha_c = 0$, para um betão normal aos dias
E_d	Valor de cálculo dos efeitos das ações
f	Coefficiente de redução
F_w	Força exercida pelo vento
f_{ck}	Resistência característica do betão
f_{cm}	Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples
f_{yk}	Resistência característica do aço
$G_{k,j}$	Ações característico da ação permanente j
g	Aceleração da gravidade
h_0	Espessura equivalente da seção transversal
k_{sur}	Fator de acabamento de superfície
kh	Coefficiente que depende da espessura equivalente h_0
L	Comprimento
M	Meridiano
P	Perpendicular
PE	Valor representativo do valor de pré-esforço
Pk	Quilómetro
q_b	Pressão dinâmica de referência
q_{vk}	Valor característico da carga vertical (carga uniformemente distribuída)
Q_{vk}	Valor característico da carga vertical (carga concentrada)

$Q_{k,1}$	Valor característico da ação variável base
$Q_{k,i}$	Valor característico da ação variável acompanhante i
Q_{lak}	Valor característico da força de arranque
Q_{lbk}	Valor característico da força de frenagem
Q_{sk}	Valor característico da força de lacete
Q_{tk}	Valor característico da força centrífuga associada às cargas pontuais
Q_{vk}	Valor característico das cargas pontuais verticais especificadas para os modelos de carga LM71, SW/0, SW/2
R_d	Valor de cálculo da resistência
r	Raio de curvatura
S	Coefficiente do solo
S_d	Valor de cálculo das ações
S_E	Ação sísmica
T_B, T_C, T_D	Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade
t	Idade do betão na data considerada, em dias
t_s	Idade do betão (dias) no início da retração por secagem
T_0	Temperatura inicial do elemento
$T_{e,min}$	Componente da variação uniforme de temperatura mínima em pontes
$T_{e,max}$	Componente da variação uniforme de temperatura mínima em pontes
u	Perímetro da parte da secção transversal exposta à secagem
v	Velocidade máxima (m/s)
V	Velocidade máxima (km/h)
V_b	Velocidade de referência
Z_e	Cota de referência

ALFABETO GREGO

α	Coefficiente de classificação de carga
α_{ds1}	Coefficientes que dependem do tipo de cimento
α_{ds2}	Coefficiente que depende do tipo de cimento
$\beta_{(fm)}$	Fator que tem em conta a influência da resistência do betão no coeficiente de fluência
$\beta_{(to)}$	Fator que tem em conta a influência da idade do betão à data do carregamento no coeficiente de fluência
$\beta_{(t,to)}$	Coefficiente que traduz a evolução da fluência no tempo, após o carregamento
$\Delta T_{N,con}$	Amplitude máxima das variações negativas
$\Delta T_{N,exp}$	Amplitude máxima das variações positivas
ε_{ca}	Extensão de retração autogénea
ε_{cd}	Extensão de retração por secagem
ε_{cs}	Valor total da extensão de retração
$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$	Deformação do betão por fluência
$\varphi_{(\infty,t_0)}$	Coefficiente de fluência a tempo infinito
φ_0	Coefficiente de fluência
φ_{RH}	Fator que tem em conta a influência da humidade relativa no coeficiente de fluência
Φ	Coefficiente dinâmico
$\gamma_{G,j}$	Coefficiente parcial relativo à ação permanente j
γ_P	Coefficiente parcial relativo a ações de pré-esforço
$\gamma_{Q,1}$	Coefficiente parcial relativo a ação variável base
$\gamma_{Q,i}$	Coefficiente parcial relativo a ação variável acompanhante i
μ	Coefficiente de atrito
ω_N	Fator de redução da componente de variação uniforme de temperatura

ω_M	Fator de redução da componente de variação diferencial de temperatura
ψ_0	Coefficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável
ψ_1	Coefficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável
ψ_2	Coefficiente para a determinação do valor quase - permanente de uma ação variável

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

A conceção e o dimensionamento de qualquer infraestrutura consistem num processo complexo e moroso, que envolve diversas especialidades, como a arquitetura, a engenharia estrutural, condicionamentos viários, hidráulicos e geotécnicos.

Para colmatar a tradicional fragmentação das equipas de projeto, a falta de integração entre as várias fases de um empreendimento e a tendência para o surgimento de erros e incompatibilidades, foi necessária a adoção de novos métodos de trabalho. Assim, surgiu o BIM (*Building Information Modeling*), que proporciona automatismos de integração de projeto, criando uma plataforma única e universal para todos os intervenientes, com a capacidade de englobar todo o ciclo de vida de uma infraestrutura, incluindo aspetos de conceção, manutenção e gestão (Lopes, 2018).

No contexto das pontes e viadutos (obras de arte), o BIM fornece modelos digitais integrados que facilitam a visualização e análise de estruturas complexas, permitindo, simultaneamente, uma melhor coordenação e a previsão de possíveis interferências entre as diferentes áreas envolvidas. Este processo resulta em maior confiabilidade e segurança na fase de execução da obra.

Estas estruturas constituem um desafio substancial no domínio da engenharia, uma vez que implicam a consideração de múltiplos aspetos técnicos, como a seleção de materiais, o dimensionamento das fundações, a avaliação do impacto ambiental, a resistência e a durabilidade estrutural, além da longevidade da construção bem como todo o processo de monitorização ao longo da vida da infraestrutura. Qualquer erro no projeto ou na execução pode acarretar graves consequências, tanto no que concerne à segurança, quanto à geração de custos adicionais.

A modelação de obras de arte utilizando a metodologia BIM envolve a representação precisa de elementos estruturais, como tabuleiros, pilares, lajes e fundações, com o apoio de ferramentas paramétricas que possibilitam ajustar rapidamente as dimensões e propriedades dos materiais, tanto às condicionantes de projeto como as reais necessidades de resistência estrutural.

Ao permitir uma visão integrada e dinâmica de todo o ciclo de vida do viaduto, o BIM promove a gestão eficiente do projeto, minimizando custos, erros de projeto e retrabalhos. Além disso, favorece a implementação de práticas sustentáveis, ao otimizar o uso de recursos, reduzir desperdícios e monitorar o desempenho da estrutura ao longo do tempo.

A modelação BIM não só contribui para um planeamento mais preciso e colaborativo, como também impulsiona a inovação tecnológica no setor da construção, proporcionando

soluções que atendem às crescentes exigências da engenharia moderna e sustentabilidade ambiental.

1.2 Motivação e Objetivos do Estudo

A crescente complexidade e procura por infraestruturas eficientes, resistentes e sustentáveis, como os viadutos, exigem uma abordagem inovadora e colaborativa no processo de concepção, construção e manutenção. Neste sentido, a metodologia BIM tem-se destacado como uma ferramenta revolucionária, oferecendo uma integração holística das várias fases do ciclo de vida dos projetos de engenharia civil. No caso específico dos viadutos, que envolvem desafios técnicos significativos devido às suas dimensões, geometria e interações com o ambiente envolvente, a modelação BIM surge como uma resposta eficaz para melhorar a precisão do projeto, reduzir erros de execução e otimizar a gestão de recursos.

Os aspetos de modelação BIM em viadutos incluem uma série de benefícios e necessidades relacionadas com eficiência, sustentabilidade e inovação no setor da engenharia civil, tais como:

Precisão e Coordenação Interdisciplinar: O BIM permite a criação de modelos tridimensionais detalhados, que integram informações geométricas, estruturais e de materiais, facilitando a deteção de conflitos e inconsistências nas diversas disciplinas envolvidas. Essa precisão é fundamental para os viadutos, onde a segurança e funcionalidade das estruturas dependem de uma coordenação rigorosa.

Redução de Custos e Prazos: Com o uso do BIM, é possível prever e solucionar problemas ainda na fase de projeto, reduzindo retrabalhos, atrasos e custos durante a fase de construção. A coordenação entre diferentes equipas e disciplinas também se torna mais eficiente.

Sustentabilidade: O BIM permite simulações energéticas e de impacto ambiental desde a fase de planeamento, facilitando a adoção de práticas mais sustentáveis. Em viadutos, pode auxiliar na escolha de materiais mais sustentáveis e na adoção de técnicas construtivas que minimizem o impacto ambiental, promovendo soluções que reduzem o consumo de energia e os resíduos durante a execução e operação.

Manutenção e Gestão do Ciclo de Vida: O BIM não só auxilia na fase de projeto e construção, mas também oferece um modelo suficientemente detalhado para futuras operações e manutenção do viaduto, ajudando na gestão ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Inovação e Competitividade: O domínio da modelação BIM é uma tendência crescente na engenharia civil e arquitetura. Empresas e profissionais que adotam essa tecnologia destacam-se no mercado pela inovação e eficiência.

Conformidade com Normas e Regulamentos: O BIM facilita o cumprimento de normas técnicas e regulatórias, uma vez que o modelo pode ser verificado automaticamente para garantir que todos os critérios legais e de segurança sejam atendidos.

Assim, estudar a modelação BIM de pontes e viadutos é essencial para modernizar práticas construtivas e alcançar resultados mais eficientes e de maior qualidade.

Neste contexto, com o presente trabalho, pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- Apresentar os principais desafios associados à modelação BIM em obras de arte;
- Evidenciar a metodologia de produção aplicada em gabinetes de engenharia;
- Apresentar exemplos de projetos já desenvolvidos utilizando a metodologia BIM;
- Por fim, apresentar dois casos práticos desenvolvidos na empresa Quadrante Global: ambos os casos dizem respeito a projetos ferroviários, sendo o primeiro focado na componente da modelação com ênfase em vigas betonadas *in situ* e vigas pré-fabricadas, apontando a diferença na modelação das mesmas no *Allplan Bridge*; já o segundo caso foca-se no dimensionamento de um pilar e posterior modelação das armaduras utilizando o *software Allplan Engineering*.

1.3 Metodologia

O presente trabalho configura-se como uma dissertação de natureza aplicada e exploratória, com enfoque na análise técnica da modelação BIM em obras de arte, em particular pontes e viadutos. A metodologia adotada articula duas vertentes complementares: uma revisão bibliográfica, que permite consolidar os conhecimentos fundamentais sobre o BIM no setor das infraestruturas, e uma componente prática, baseada na aplicação real da metodologia BIM em projetos desenvolvidos na empresa Quadrante Global.

Inicialmente, procedeu-se a uma revisão bibliográfica, com o objetivo de consolidar o conhecimento sobre o estado da arte da aplicação do BIM em obras de arte, identificando os seus principais benefícios, limitações e fluxos de trabalho utilizados nos gabinetes de engenharia. Em seguida, foram analisados dois casos de estudo reais, relacionados com projetos ferroviários, onde foram aplicadas técnicas de modelação paramétrica e representação de armaduras estruturais em ambiente BIM, recorrendo ao *software Allplan (Bridge e Engineering)*.

Para o cumprimento dos objetivos definidos, foram considerados os seguintes pontos:

- Levantamento e análise bibliográfica sobre:
 - Conceito e evolução do BIM;
 - Aplicações do BIM em obras de arte, nomeadamente pontes e viadutos;

- Benefícios do BIM em termos de precisão, coordenação interdisciplinar e eficiência na construção;
- Desafios e limitações na implementação do BIM em infraestruturas complexas.
- Observação e registo da metodologia de produção aplicada na Quadrante Global, nomeadamente:
 - Processos internos de modelação BIM;
 - Utilização de ferramentas específicas (*Allplan Bridge* e *Allplan Engineering*);
 - Métodos de integração topográfica, estrutural e documental.
- Desenvolvimento de dois casos práticos:
 - Caso de Estudo 1: Modelação de um viaduto ferroviário com enfoque na comparação entre vigas betonadas *in situ* e vigas pré-fabricadas, explorando a sua representação geométrica e comportamento no ambiente BIM;
 - Caso de Estudo 2: Modelação das armaduras de um pilar de geometria variável pertencente a um viaduto ferroviário.
- Técnicas de análise:
 - Registo das dificuldades práticas na modelação;
 - Avaliação da qualidade da documentação produzida e da eficiência do processo.

Por fim, foram apresentadas as conclusões, com base na análise crítica dos processos adotados, destacando as contribuições da metodologia BIM para a modernização dos projetos de pontes e viadutos.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, cuja organização e conteúdos são descritos a seguir:

O Capítulo I – Introdução – apresenta o enquadramento do tema, destacando os objetivos gerais e específicos do estudo, a relevância do trabalho, a metodologia adotada e as motivações subjacentes à sua realização. Este capítulo fornece o contexto necessário para compreender a importância e os propósitos do estudo.

O Capítulo II – BIM em Obras de Arte – Neste capítulo é realizada a revisão bibliográfica, abordando os conceitos fundamentais da metodologia BIM, os seus benefícios e desafios, bem como o estado da arte da sua aplicação em obras de arte. Inclui-se uma análise crítica de estudos anteriores, com particular enfoque na modelação de viadutos e

pontes, descrevendo ainda os processos de integração interdisciplinar e a prática corrente em gabinetes de engenharia.

O Capítulo III – Caso de estudo 1 – Modelação Paramétrica no *Allplan Bridge* – este capítulo descreve a aplicação prática da metodologia BIM ao caso de estudo. É detalhada a modelação dos diferentes elementos do viaduto no *Allplan Bridge* (superestrutura e infraestrutura). É também apresentada a metodologia de modelação comparativa entre tabuleiros em vigas *in situ* e vigas pré-fabricadas, analisando os desafios associados a cada solução.

O Capítulo IV – Caso de estudo 2 – Modelação de Armaduras 3D – este capítulo centra-se na modelação e dimensionamento das armaduras 3D do pilar PC1 de um viaduto ferroviário no *Allplan Engineering*. São descritas as etapas de definição das barras, os diferentes métodos de distribuição (*linear, sweep, extrude, polygonal placement*), e os desafios da modelação de armaduras variáveis em geometrias complexas. É ainda abordada a criação de etiquetas (labels) e listagem das armaduras.

Por fim, o Capítulo V – Conclusões – apresenta as principais conclusões do estudo, destacando os contributos alcançados no âmbito da aplicação do BIM à modelação de viadutos e armaduras estruturais. Apresenta ainda linhas de investigação futura, com enfoque na automação da modelação e na integração de fluxos de análise estrutural.

2 BIM EM OBRAS DE ARTE

2.1 Considerações Gerais

Entende-se como uma obra de arte em engenharia civil, uma construção que tem uma grande importância, conseguindo aliar a complexidade técnica da construção a soluções simples, assim como a um bom planejamento, execução e beleza arquitetônica. Tal conceito de obra de arte engloba construções em vias de comunicação (pontes, viadutos, passagens superiores, passagens inferiores, passagens agrícolas), como estruturas e dispositivos de proteção e desvio de grandes massas de água (diques, barragens) (Mira, 2014).

O *Building Information Modeling* (BIM) – é um conceito / metodologia / tecnologia emergente que permite a construção virtual de um edifício num modelo digital que apoia os arquitetos, engenheiros e os construtores a melhor projetarem e planejarem a sua construção e operação (Eastman et al., 2011) apud (Ribeiro, 2015).

O uso do BIM nestas tipologias construtivas representa uma mudança paradigmática na forma como essas infraestruturas são projetadas, construídas e geridas. Estas obras são cruciais para a continuidade e funcionalidade das redes de transporte, exigindo precisão e integração multidisciplinar, características que o BIM aborda com eficiência.

De acordo com Oliveira (2022), nos últimos anos, o BIM tem-se afirmado como uma ferramenta eficaz para apoiar projetos de arquitetura e construção civil. A maioria das soluções de *software* BIM disponíveis no mercado é aplicada, sobretudo, em edifícios e seus componentes. Embora o BIM tenha sido inicialmente concebido para o setor edificatório, os seus princípios podem ser aplicados também a infraestruturas, abrangendo desde a fase de concepção até à construção e manutenção. Este alargamento de aplicação revela o potencial versátil da metodologia BIM no contexto das infraestruturas.

A evolução do BIM permitiu o surgimento de BrIM (*Bridge Information Modeling*), aplicado ao ramo de pontes. Assim como o BIM, o BrIM também é uma metodologia; no entanto, está relacionado com um eixo do projeto rodoviário ou ferroviário (Oliveira, 2022).

Araújo (2022) aponta duas diferenças pela qual o BIM passou a designar-se por BrIM quando se trata de projetos de pontes. A primeira diferença refere-se ao número de especialidades envolvidas, que é menor em projetos de pontes, uma vez que, por exemplo, sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) só estão presentes em alguns casos. A segunda diz respeito aos tipos de elementos construtivos que precisam de ser modelados: enquanto alguns elementos, como pilares e vigas, são comuns a edifícios, outros, como aparelhos de apoio, são exclusivos das pontes. Além disso, embora as pontes sejam infraestruturas pontuais em comparação com outras formas de transporte, elas

apresentam um desenvolvimento horizontal que difere do desenvolvimento vertical tendencial dos edifícios.

O BrIM visa disponibilizar toda a informação acumulada ao longo das diversas fases do projeto – desde o planeamento e construção até à eventual demolição – integrando-a em modelos que acompanham o processo evolutivo de pontes e viadutos. Assim como o BIM, esta metodologia permite que os *stakeholders* de diferentes especialidades introduzam dados diretamente no modelo, colaborando para compor o complexo sistema de construção e manutenção destas estruturas, como ilustrado na Figura 2-1 (Johansen, 2013) apud (Ribeiro, 2015).

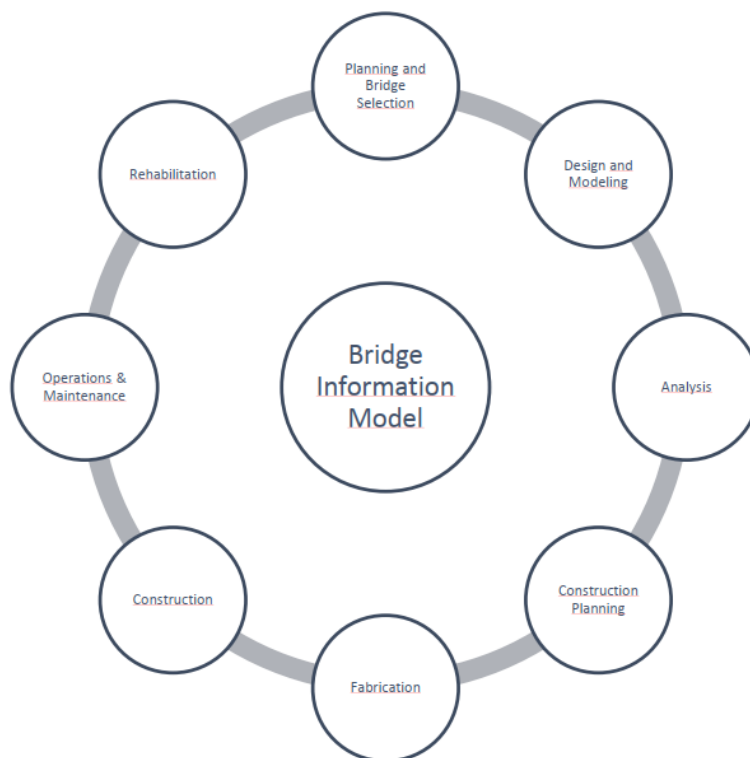


Figura 2-1 – Etapas de um projeto em BIM
(Eastman et al., 2011) apud (Ribeiro, 2015)

2.2 Desafios Associados ao Projeto de Obras de Arte

Na criação de um projeto de obras de arte é necessário ter em conta não só o aspeto de construção dos modelos BIM, como também todo o processo inicial de conceção da obra. Uma vez que a conceção parte de determinadas condições a que o projeto está sujeito, importa referenciar as condicionantes associadas.

2.2.1 Principais Condicionantes em Projetos de Obras de Arte

Os principais condicionantes de um projeto de obras de arte são:

- **Condicionamentos geométricos**

Associa-se a estes condicionamentos aqueles que resultam das características geométricas dos traçados rodoviários e/ou ferroviários. Estes determinam diversas geometrias tais como a largura das faixas de rodagem, a diretriz, a rasante, raios de curvatura, inclinações admissíveis, gabarito mínimo, etc.

Relativamente à largura da faixa de rodagem, esta deverá ser igual à da estrada de modo a não haver redução de velocidade dos veículos. Devem ter a mesma cor e inclinação transversal que a estrada.

Em perfil longitudinal o traçado terá de adaptar-se à rasante da via cujas inclinações máximas e mínimas dos trainéis devem satisfazer os valores normativos ou impostos pelo cliente.

Devem também garantir-se os gabaritos verticais e horizontais que em geral são impostos no início de projeto. Como exemplo fixam-se os gabaritos verticais de 5 m a 5,5 m de altura sobre as faixas de rodagem.

- **Condicionamentos hidráulicos**

Para projetar uma obra de arte sobre um curso de água, é necessário abordar aspetos fundamentais, tais como:

- A influência da obra no regime do curso de água;
- As ações hidrodinâmicas provocadas pela corrente sobre os possíveis pilares da ponte fundados no leito do rio;
- A erosão na zona de fundação dos pilares, a qual tem sido a causa do colapso da maioria das pontes antigas de alvenaria;
- O cumprimento de critérios ambientais e proteção de linhas de água.

Para a implantação e estudo das pontes, o projetista deve dispor de elementos onde devem constar a definição da natureza do fundo do rio e das suas margens, a caracterização das máximas cheias prováveis, a definição dos elementos necessários para o cálculo de vazão do curso de água na zona da ponte, a natureza e quantidade do caudal sólido, a mobilidade do leito do rio ao longo do tempo com indicações acerca de zonas de aluviões e zonas de erosão.

Deve conhecer informações relativas a obras de arte já existentes na mesma bacia hidrográfica, tais como as suas vazões, tipo de fundações, possíveis

erosões já detetadas, etc. É necessário conhecer as cotas de máximas cheias com indicação das épocas, períodos e frequências dessas ocorrências.

- **Condicionamentos topográficos**

Os condicionamentos topográficos são fundamentais na concepção e construção de pontes e viadutos, pois influenciam diretamente o projeto e a viabilidade da estrutura. Estes condicionamentos são geralmente obtidos com base no levantamento topográfico do local de implantação da obra recorrendo-se frequentemente à fotogrametria.

O levantamento topográfico deve assegurar uma definição precisa e detalhada do relevo do terreno onde será implantada a obra de arte, bem como da via de comunicação à qual esta estará integrada, garantindo uma harmonização entre a estrutura e o espaço envolvente. Deste levantamento topográfico deve constar:

- Plantas topográficas gerais (escalas 1/2000; 1/1000; 1/500) que devem abranger extensões da via de comunicação com um alcance mínimo de 1 km para cada lado dos pontos de implantação projetados da ponte, assegurando uma cobertura adequada para análise e integração da estrutura na sua envolvente;
- Um perfil longitudinal detalhado, em escalas de 1:1000 ou 1:500, ao longo do eixo da via e do alinhamento previsto para a ponte. Este perfil deve apresentar as cotas do terreno e da estrada na área onde a ponte se localizará, incluindo as características geométricas essenciais da via, tais como raios de curvatura, inclinações, entre outros, garantindo uma análise precisa da adaptação da ponte ao traçado viário;
- Plantas topográficas detalhadas em escalas de 1:100 ou 1:200, com representação das curvas de nível, para melhor compreensão do relevo. Além disso, essas plantas devem incluir as coordenadas de implantação dos pontos meridional e perpendicular (M e P), bem como a identificação exata do local da ponte na estrada (quilometragem exata), assegurando precisão no posicionamento e integração com a via existente;
- A secção transversal do rio ao longo do eixo provável da ponte. Esta secção deve incluir uma análise detalhada das cotas do fundo (batimetria), fornecendo uma visão precisa da profundidade e da morfologia do leito do rio. Esses dados são fundamentais para projetar

os elementos estruturais e garantir a segurança e estabilidade da ponte face às condições hidráulicas do local.

- **Condicionamentos geotécnicos**

Os condicionantes geotécnicos têm um papel determinante no projeto das fundações de uma ponte, influenciando diretamente diversas escolhas de projeto. Estes fatores impactam desde a seleção do sistema estrutural adequado, a definição dos vãos, até o desenvolvimento dos encontros. A natureza do solo e sua capacidade de suporte, as condições de drenagem, e a presença de materiais instáveis ou lençóis freáticos influenciam a viabilidade das fundações e a segurança da estrutura.

Para assegurar a segurança das fundações, é indispensável realizar uma campanha de sondagens e ensaios geotécnicos que forneçam ao projetista os dados necessários para a concepção do projeto, nomeadamente:

- Relatório da prospeção geológica geral no local de implantação da ponte;
- Relatório da campanha de sondagens geotécnicas realizadas, incluindo a localização dos pontos de sondagem, o tipo de equipamento utilizado, profundidades atingidas, heterogeneidades identificadas, natureza e espessura das camadas atravessadas, e a presença e variação temporal de níveis freáticos;
- Relatório com os resultados dos ensaios de caracterização e definição de propriedades físicas e mecânicas dos solos encontrados.

- **Condicionamentos complementares**

- Condicionamentos locais – condições de acesso ao local da obra para transporte de materiais e equipamentos; disponibilidade de materiais de construção na área da ponte; técnicas de execução e especialização da mão de obra local; acesso a água potável; condições meteorológicas que podem afetar o ritmo da obra; e presença de infraestruturas públicas, como condutas de água, cabos elétricos e telefônicos, na zona de implantação;
- Existência de elementos agressivos – agressividade da água sobre os materiais de construção; presença de moluscos que comprometem as estruturas de madeira utilizadas no escoramento; e impacto corrosivo das águas sobre as armaduras submersas antes da betonagem;
- Condicionamentos sísmicos – histórico e características dos sismos ocorridos na região, e risco de cedência das fundações por liquefação,

resultante da diminuição das tensões efetivas devido ao aumento da tensão neutra sob ação sísmica:

- Condicionamentos ambientais e de integração paisagística – a ponte pode oferecer vistas privilegiadas para uma paisagem natural ou uma cidade, ou ser visível de perto por meio de passadiços para peões, o que exige especial atenção ao tratamento estético. A sua localização pode também requerer medidas de proteção contra ruído de tráfego, dada a proximidade com áreas sensíveis. Além disso, o impacto visual da ponte sobre a paisagem local é considerável, sendo necessário integrar o seu design de forma harmoniosa no cenário envolvente.

Associado aos condicionamentos anteriormente apresentados, existem outros aspetos gerais a ter em conta aquando da concessão destes tipos de obras.

2.2.2 Processo de Conceção de Obras de Arte

Na conceção das estruturas considera-se, para além dos aspetos da segurança estrutural e economia, os conhecimentos e as indicações mais recentes em termos de qualidade do comportamento estrutural e de durabilidade.

No processo de conceção da obra procura-se obter soluções estruturais e processos construtivos que, respeitando todos os condicionamentos identificados, otimizem os aspetos da funcionalidade, qualidade, custos e prazos de execução.

Este processo de conceção resulta na adoção de uma tipologia estrutural que satisfaça todos os aspetos mencionados com especial ênfase ao método construtivo. Correntemente e de acordo com a Figura 2-2, pode-se dividir nas seguintes componentes:

- **Superestrutura:** Tabuleiro, Aparelhos de Apoio

É a parte da ponte que suporta diretamente o tráfego e inclui o tabuleiro e os elementos que o sustentam. Na superestrutura, encontram-se componentes como o tabuleiro, vigas, arcos ou cabos (em pontes suspensas e estaiadas), além das barreiras de proteção e guarda-corpos. Esta secção é responsável pela transferência das cargas dinâmicas e estáticas para a mesoestrutura;

- **Mesoestrutura:** Pilares, encontros e travessas

Também chamada de estrutura intermediária, a mesoestrutura inclui os pilares ou colunas que suportam a superestrutura e transferem as cargas para a infraestrutura e os encontros que conectam a ponte ao terreno, garantindo estabilidade nas extremidades e facilitando a transição entre a via e a estrutura da ponte. Em pontes de grandes dimensões, a mesoestrutura desempenha um papel crucial na

estabilização e distribuição de esforços. Os pilares são projetados para resistir às forças de compressão e flexão, transmitindo as cargas para as fundações;

- **Infraestrutura:** Fundações diretas (sapatas) ou indiretas (estacas)

É a parte da ponte que está em contacto direto com o solo, composta pelas fundações. A infraestrutura é responsável por suportar toda a estrutura e distribuir as cargas para o terreno de forma segura. As fundações podem ser diretas ou indiretas, dependendo das características do solo.

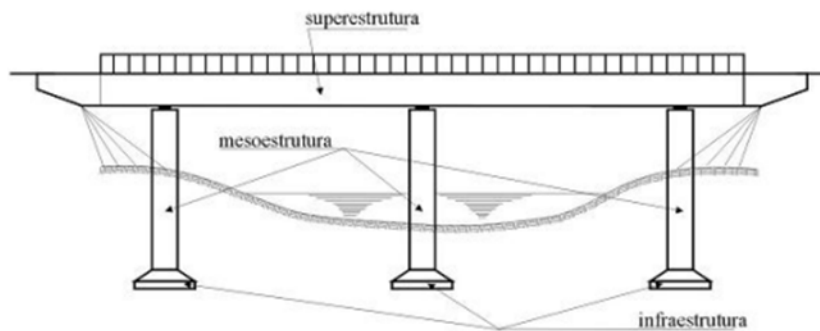


Figura 2-2 – Elementos constituintes das pontes
(Vitório, 2002)

2.2.3 Desafios de um Projeto de Obras de Arte em Metodologia BIM

A implementação da metodologia BIM em projetos de obras de arte (como pontes e viadutos) apresenta vários desafios, decorrentes da complexidade técnica e das exigências específicas dessas infraestruturas. Abaixo estão alguns dos principais desafios:

- Geometrias irregulares associadas às características viárias: superfícies curvas, em clotóide, em trainel, em concordância vertical;
- Adoção de elementos estruturais de geometrias singulares tais como elementos pré-fabricados, aonde se pretende tendencialmente simplificar a construção adotando estruturas lineares e planas. As ferramentas disponíveis baseiam-se na extrusão de secções paramétricas sobre o alinhamento da via, muitas vezes curvo em planta e em perfil. A extrusão da secção resulta por isso em elementos que acompanham a curvatura do alinhamento, situação que não tem correspondência com a realidade em soluções pré-fabricadas ou de elementos metálicos (Serra et al., 2022);
- Interoperabilidade entre programas de cálculo estrutural e modelação: A integração entre o modelo analítico e o modelo BIM deverá ser feita por um processo de exportação/importação simples (Serra et al., 2022);

- Processo de cálculo estrutural e transição entre modelo geométrico e modelo de cálculo: normalmente os modelos de cálculo são mais simples e deverá ser realizado por um processo de exportação/importação corretamente definido;
- Integração Multidisciplinar: Projetos de obras de arte exigem a colaboração de várias disciplinas, como engenharia estrutural, hidráulica, geotecnia e arquitetura. A metodologia BIM precisa integrar essas diferentes áreas num único modelo digital, exigindo uma coordenação rigorosa para garantir que todos os dados e modelos estejam alinhados e sejam compatíveis ao longo do ciclo de vida do projeto.

Estes desafios refletem a complexidade de aplicar BIM em obras de arte e requerem uma abordagem metódica para assegurar a precisão e a integração dos dados estruturais em todas as fases do projeto.

2.3 Metodologia de Produção em Gabinetes de Engenharia

A metodologia de produção de projetos de obras de arte em BIM em gabinetes de engenharia abrange várias etapas e técnicas específicas para assegurar que o projeto seja detalhado e compatível com as exigências técnicas, de segurança e de coordenação entre diferentes disciplinas. Abaixo estão os principais passos seguidos para a criação de projetos de pontes e viadutos em BIM:

1. Elaboração do Plano de Execução (BEP)

Conhecido internacionalmente como *BIM Project Execution Plan (PxP)*, *BIM Execution Plan (BEP)* ou *BIM Management Plan (BMP)*, este plano formal é amplamente utilizado para definir os princípios que orientarão a execução, controlo e coordenação do projeto com base na metodologia BIM (Gomes, 2015).

O BEP estabelece estratégias detalhadas e procedimentos técnicos que asseguram a eficiência e a integração de todos os intervenientes ao longo das diferentes fases do projeto, tal como ilustra a Figura 2-3.

Este plano é fundamental para alinhar os objetivos técnicos e organizacionais, promovendo uma colaboração eficaz entre as equipas envolvidas, desde a conceção inicial até à fase de operação e manutenção.

O plano também especifica as ferramentas, fluxos de trabalho e normas a serem aplicadas, garantindo a uniformidade na modelação e a conformidade com os requisitos do cliente e com os regulamentos locais e internacionais.



Figura 2-3 – Estrutura do Plano de Execução BIM

Adaptado de (Zigurat, 2022)

Segundo Gomes (2015), os conteúdos principais de um BEP são:

I. Identificação do projeto

- Cliente, dono da obra ou proprietário do empreendimento;
- Nome do projeto – Elemento essencial para a identificação formal e administrativa. Deve ser utilizado em toda a documentação associada;
- Localização e morada do projeto – Permite contextualizar geograficamente o projeto, importante para a logística e a integração de dados topográficos e de infraestruturas locais.

II. Modelo de contratação

- Identifica o regime de trabalho adotado (tradicional, chave na mão, conceção-construção, administração direta). Este elemento afeta diretamente os processos colaborativos e os fluxos de informação, fundamentais na metodologia BIM.

III. Descrição sumária do projeto

- Fornece uma visão geral das características principais do projeto, incluindo o tipo de infraestrutura, objetivos e complexidade, para situar os intervenientes e orientar os processos de modelação.

IV. Contatos Relevantes

- Inclui os principais responsáveis técnicos e administrativos. Facilita a comunicação entre as partes, elemento crítico em processos colaborativos baseados em BIM.

V. Faseamento e Marcos Temporais

- Define as fases de desenvolvimento do projeto e os prazos associados. Este item é indispensável para o planeamento da execução e coordenação do modelo BIM ao longo das diferentes etapas.

VI. Objetivos e Usos do BIM no Projeto

- Esclarece os propósitos para a aplicação do BIM, como análise de interferências, extração de quantidades, planeamento de construção e gestão do ciclo de vida da infraestrutura.

VII. Funções e Responsabilidades

- Atribui papéis claros a cada entidade envolvida, definindo as responsabilidades de gestão, coordenação e execução, promovendo a transparência e a eficácia no uso do BIM.

VIII. Processo de Execução em BIM

- Explicita como o modelo BIM será desenvolvido, atualizado e partilhado, assegurando a integridade e a consistência das informações ao longo do projeto.

IX. Protocolos de Troca de Modelos BIM

- Define normas e formatos para a partilha de modelos entre os intervenientes, garantindo a interoperabilidade e minimizando erros de comunicação.

X. Colaboração e Manuseio de Modelos Partilhados

- Especifica procedimentos de colaboração, incluindo o acesso, a edição e a gestão de modelos partilhados, assegurando que as alterações sejam controladas e documentadas.

XI. Entregas de Projeto

- Detalha os produtos finais, como plantas, cortes, relatórios e modelos 3D, e estabelece os prazos para a sua entrega.

XII. Sistema de Controlo da Qualidade dos Modelos

- Implementa mecanismos de validação para assegurar que os modelos cumprem os padrões estabelecidos, incluindo verificações de coerência e conformidade com as normas.

XIII. Infraestrutura Tecnológica

- Descreve o *software* e hardware a ser utilizado, garantindo que os recursos tecnológicos são adequados para suportar a modelação e a gestão de dados BIM.

No BEP, define-se o "Level of Information Need" (LOIN), que integra o Nível de Detalhe (LOD) e o Nível de Informação (LOI), especificando a profundidade de cada elemento do modelo ao longo das fases do projeto, desde a concepção e construção até à operação e manutenção (Oliveira, 2022).

O LOD refere-se ao conteúdo gráfico do modelo, abrangendo a precisão geométrica e o grau de refinamento 3D necessário em cada etapa. A evolução do LOD, desde o design conceptual até à manutenção, assegura que o modelo possua o detalhe necessário para suportar decisões técnicas e garantir a eficiência na execução do projeto. Em contraste, o LOI trata da quantidade, qualidade e importância dos dados não gráficos associados a cada elemento. Determinado pelo propósito da entrega, o LOI deve conter apenas as informações essenciais, evitando dados desnecessários que representem desperdício (Dang et al, 2020).

Assim, enquanto o LOD se centra na precisão geométrica, o LOI foca-se na qualidade e quantidade de informações complementares, ajustadas ao uso e objetivo do modelo. De acordo com a ISO 19650, o LOD é classificado numa escala de 100 a 500, refletindo o nível de maturidade e refinamento exigido em cada fase do ciclo de vida do projeto, conforme ilustrado na Figura 2-4. Esta integração harmoniosa de LOD e LOI assegura que o modelo seja desenvolvido com a profundidade e precisão necessárias, promovendo a eficiência e a confiabilidade das informações ao longo de todas as fases do projeto.

Level of Detail <i>Definition for different stages</i>		Level of Information Need for a Stiffening Girder <i>LOD vs. LOI</i>		Level of Information <i>Definition for different BIM Uses</i>	
LOD 100	Conceptual - Alignment (point, curve, line, level...)			LOI 100	Plan - Cost estimation - Phase planning - Programming - Site analysis
LOD 200	Schematic Design - Approximate objects (quantities, size, shape, location, orientation, environmental/loading conditions, material...)			LOI 200	Design - Structural/mechanical analysis - Lighting/energy analysis - Sustainability evaluation - Code validation
LOD 300	Detailed Design - Objects with key features (quantities, size, shape, location, orientation, environmental/loading conditions, material...)			LOI 300	Detailed Design - 3D coordination - Site utilization planning - Construction system design
LOD 400	Construction, Fabrication, Assembly - Object integration with details (detailing for manufacture, fabrication, installation...)			LOI 400	Construct - Digital fabrication - 3D control and planning - Record modeling
LOD 500	As-built - Field verified representation (damage record, repair history, current condition assessment...)			LOI 500	Operate - Maintenance scheduling - Building system analysis - Asset/space management - Disaster planning and management

Figura 2-4 – “Level of Development” dum modelo de viga transversal (Dang et al., 2020)

Segundo Lopes (2018), o LOD do modelo BIM evolui ao longo das diferentes fases do projeto, garantindo precisão e informação adequadas a cada etapa. O LOD 100 fornece informações básicas sobre massa e volume, sendo utilizado na fase de programa base. O

LOD 200 introduz dados relevantes para análise estrutural, aplicáveis ao estudo prévio. O LOD 300 é desenvolvido para o projeto de execução, detalhando elementos técnicos. Já o LOD 400 abrange informações completas para fabricação, montagem e construção, essenciais durante a preparação e execução da obra. Por fim, o LOD 500, representando o modelo "as-built", assegura informações precisas para a exploração e manutenção da infraestrutura, garantindo a gestão eficiente ao longo do seu ciclo de vida.

2. Criação do modelo BIM

I. Inputs (Entradas)

- Dados topográficos (Modelos digitais do terreno - MDT);
- Informações geotécnicas (caracterização do solo e fundações);
- Especificações do projeto (dimensões, materiais, normas aplicáveis);
- Traçado e alinhamento (dados viários e ferroviários como eixos, sobrelevações);
- Requisitos estruturais (cargas, pré-esforço, secções).

II. Processo de Modelação

- Início da Modelação:
 - Importação dos dados topográficos e geotécnicos;
 - Definição dos parâmetros iniciais (traçado, vãos e geometrias).
- Criação do Modelo Analítico:
 - Modelação das secções estruturais e vigas;
 - Aplicação de cargas e definição do pré-esforço.
- Validação Estrutural:
 - Verificação de coerência entre geometria e cálculos;
 - Simulação de etapas construtivas.
- Integração com Especialidades:
 - Coordenação com outros modelos (drenagem, vias de acesso);
 - Verificação de interferências (*clash detection*).

III. Outputs (Saídas)

- Exportação para IFC (Interoperabilidade com outras plataformas BIM);
- Geração de desenhos técnicos (plantas, cortes e alçados);
- Listas de materiais e quantidades;
- Documentação para execução (detalhes construtivos e fases);
- Modelo final para operação e manutenção.

2.4 Exemplos de Projetos já existentes

A procura crescente por infraestruturas eficientes e sustentáveis tem impulsionado o uso de metodologias inovadoras, como o BIM, no design de grandes projetos de engenharia. Neste contexto, este subcapítulo apresenta dois exemplos notáveis liderados pela Quadrante: o projeto ferroviário na Nigéria e a Linha Rubi do Metro do Porto. Ambos os projetos ilustram o papel transformador da tecnologia no planeamento e execução de estruturas complexas.

Toda a informação sobre a ferrovia da Nigéria foi baseada no site do *Allplan* (Allplan, 2023) assim como a informação referente ao metro do Porto (Allplan, 2022).

2.4.1 Projeto Ferroviário da Nigéria: Padronização e Eficiência

Este projeto corresponde ao design da nova linha ferroviária que se estende de Kano a Maradi e de Kano a Dutse, na Nigéria. Este projeto, envolve a construção de uma linha ferroviária de 480 km, incluindo 52 pontes ferroviárias, 75 passagens superiores, 6 passagens inferiores, 20 estações e 5 pátios de manutenção e oficinas.

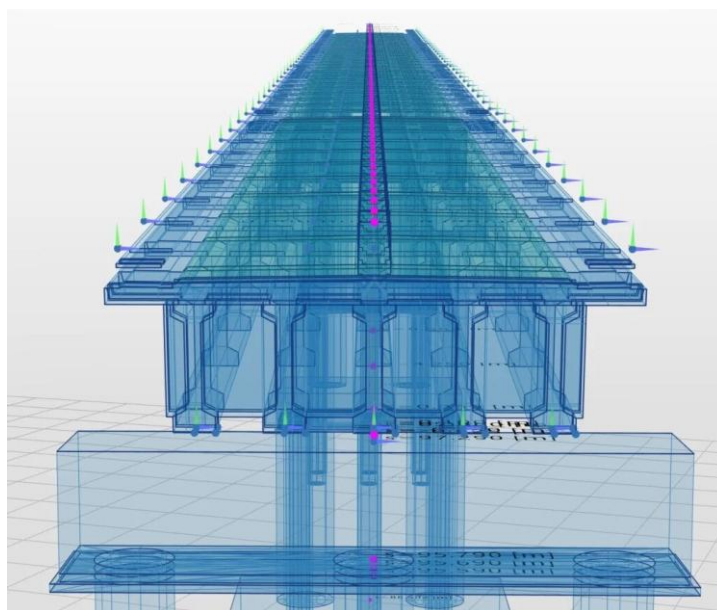


Figura 2-5 – Exemplo da modelação de uma ponte no Allplan Bridge (Allplan, 2023)

Com o uso do *software Allplan Bridge* (Figura 2-5) a Quadrante criou um modelo padrão para as pontes, otimizando eficiência e precisão. O modelo inclui componentes laminados verticais e operações booleanas para criar juntas entre elementos pré-fabricados. O alinhamento ferroviário é importado via *LandXML*, e o design utiliza linhas de referência e secções transversais adaptáveis.

O modelo padrão serve como base para outros projetos, permitindo ajustes rápidos e a adição de vãos extras com suporte de arquivos TCL. Após a modelação 3D, desenhos 2D são gerados com apenas três ou quatro vistas gerais. Esse fluxo de trabalho permite à equipe

projetar uma ponte ferroviária de 1 km em cerca de duas horas, estabelecendo um novo padrão de eficiência, reduzindo a complexidade do projeto e mantendo a flexibilidade para atender aos requisitos locais.

Após a modelação 3D, a Quadrante utiliza o *Allplan Engineering* para a criação modular de armaduras, permitindo a qualificação detalhada dos varões, como comprimento e peso, tal como ilustrado na Figura 2-6. Com uma armadura padrão replicada ao longo do projeto, o processo otimiza o tempo, reduz erros e facilita a geração de esquemas de dobragem de ferro, assegurando precisão e conformidade técnica.

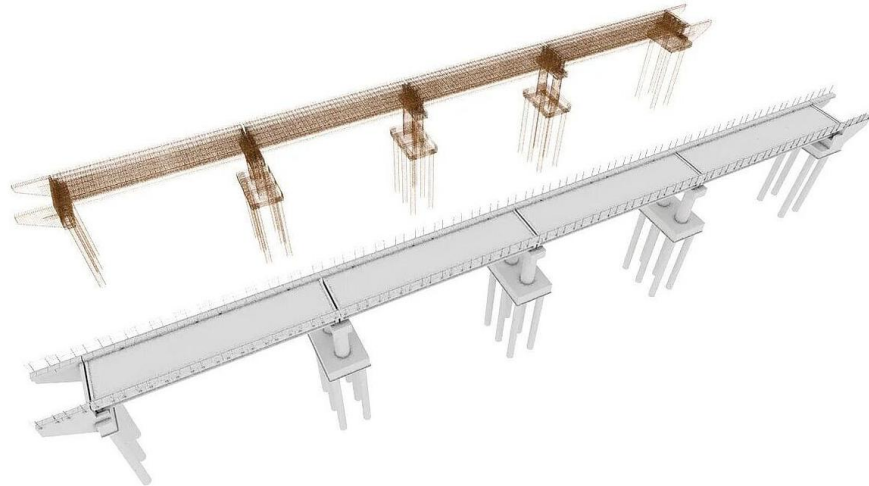


Figura 2-6 – Modelo 3D de uma ponte e sua respectiva armadura

(Allplan, 2023)

Através do *Allplan Bridge* foram ainda modeladas as passagens inferiores e o terreno envolvente, proporcionando uma representação visual detalhada e integrada, tal como ilustra a Figura 2-7. A modelação inclui troços adjacentes de estradas e vias-férreas, com estruturas de geometria constante, como secções fechadas, paredes de contenção e barreiras de betão, garantindo uma compreensão clara entre as partes interessadas.

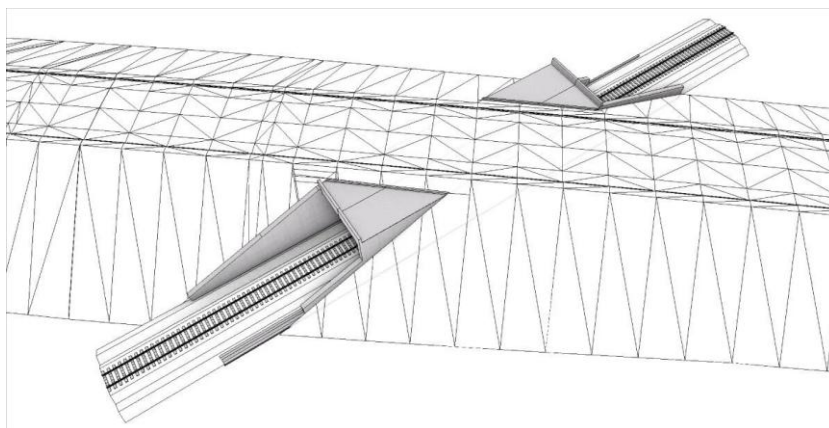


Figura 2-7 – Modelo 3D de uma passagem inferior e o terreno circundante no Allplan Bridge.
(Allplan, 2023)

2.4.2 Linha Rubi do Metro do Porto: Integração Multidisciplinar

Para atender à crescente procura por mobilidade entre o Porto e Vila Nova de Gaia, a Quadrante, colaborou na conceção da nova Linha Rubi do Metro do Porto. Este projeto abrange uma linha de 6,5 km que inclui uma nova ponte sobre o rio Douro, quatro viadutos (Figura 2-8), três passagens inferiores, múltiplos muros de contenção e sete estações. Com foco em viagens sustentáveis, a linha promove a integração urbana e a recuperação económica pós pandemia.

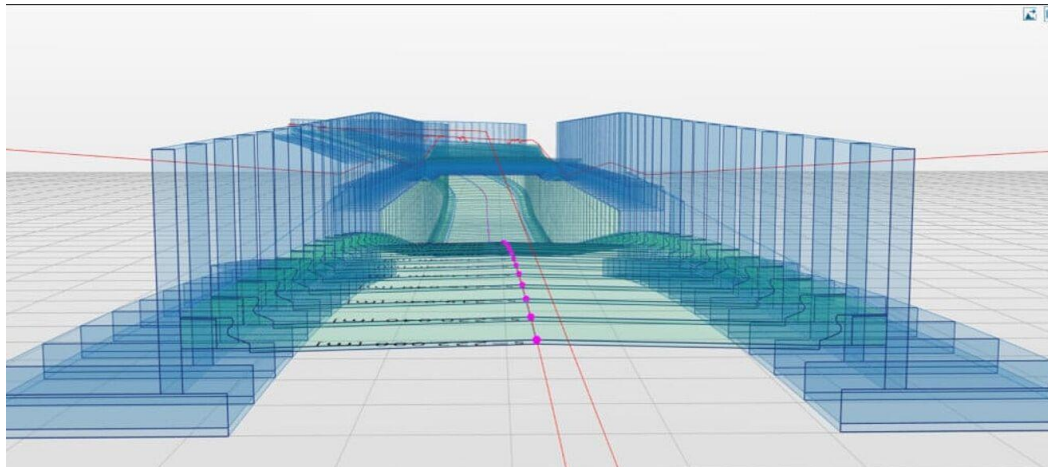


Figura 2-8 – Exemplo de um modelo 3D de um viaduto no Allplan Bridge
(Allplan, 2022)

O design paramétrico foi aplicado para criar secções transversais dinâmicas e modelos 3D integrados, abrangendo viadutos, estações e outras infraestruturas complementares. Na Figura 2-9, observa-se um exemplo de um viaduto modelado no *Allplan Bridge*, ilustrando a precisão e o nível de detalhe alcançados com esta abordagem. Ferramentas personalizadas permitiram gerar tabelas dinâmicas em Excel para componentes como vigas, agilizando o fluxo de trabalho e garantindo precisão.

A modelação também incluiu elementos como alinhamento ferroviário, drenagem, canais de cabos e áreas de evacuação. Secções combinadas foram desenvolvidas para diferentes tipos de trechos, como subterrâneos, de superfície e viadutos. Na Figura 2-10, é possível visualizar o modelo 3D de uma passagem inferior, demonstrando a integração de múltiplos elementos estruturais no mesmo ambiente digital. Essa abordagem permitiu documentar e atualizar os modelos em tempo real, aumentando significativamente a eficiência e flexibilidade do projeto.

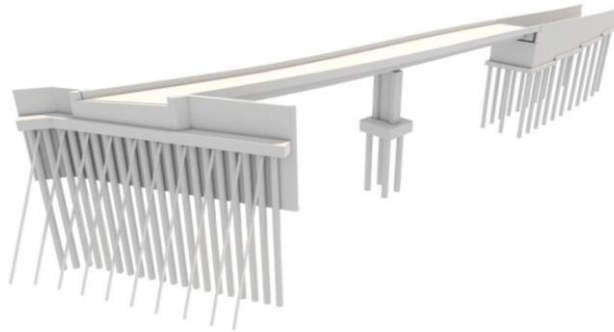


Figura 2-9 – Viaduto modelado no *Allplan Bridge*

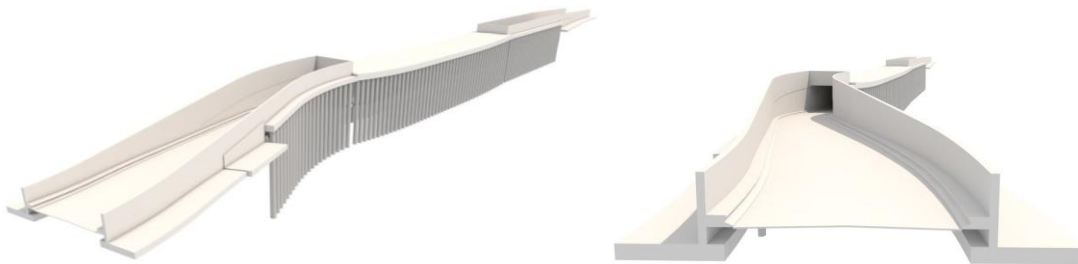


Figura 2-10 – Modelo 3d de uma passagem inferior

3 CASO DE ESTUDO 1 – MODELAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM VIADUTO NO ALLPLAN BRIDGE

3.1 Caracterização do Projeto

- **Tipo de Obra**

O viaduto ferroviário, objeto da modelação paramétrica, é constituído por quatro estruturas independentes do tipo ponte com vigas pré-fabricadas em betão armado. Atravessando um vale, a estrutura permite vencer um vão total de 339 m.

A tipologia adotada consiste num tabuleiro do tipo “laje vigada” em betão armado, composto por vigas longitudinais pré-fabricadas com laje colaborante (pré-lajes) de 0,08 m de espessura. A estrutura é rigidificada transversalmente, ao nível dos apoios, por vigas transversais (carlingas).

Na Figura 3-1, pode observar-se o modelo 3D da obra.

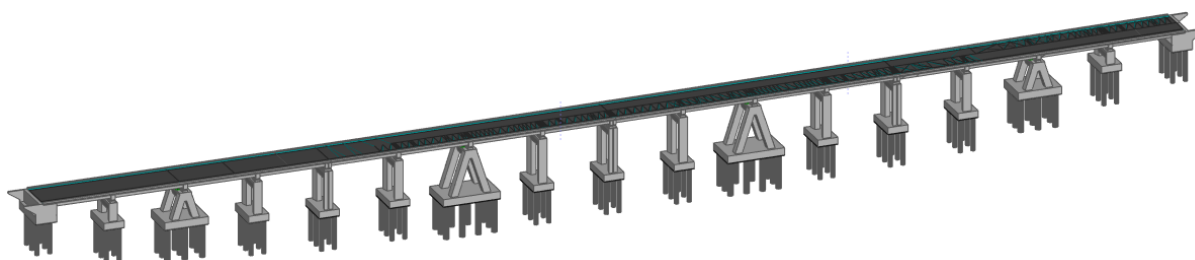


Figura 3-1 – Perspetiva tridimensional

- **Traçado em planta e perfil longitudinal (Norte – Sul)**

Em planta, o traçado segue de Norte para Sul com uma curva circular de raio 6 800 m (comprimento de arco aproximado de 55 m), seguida por uma clotoíde de transição de 225 m, um ponto de inflexão e uma segunda clotoíde de 60 m. O perfil longitudinal apresenta uma rampa ascendente constante de 0,3 %. Na Figura 3-2, pode-se observar o corte longitudinal.

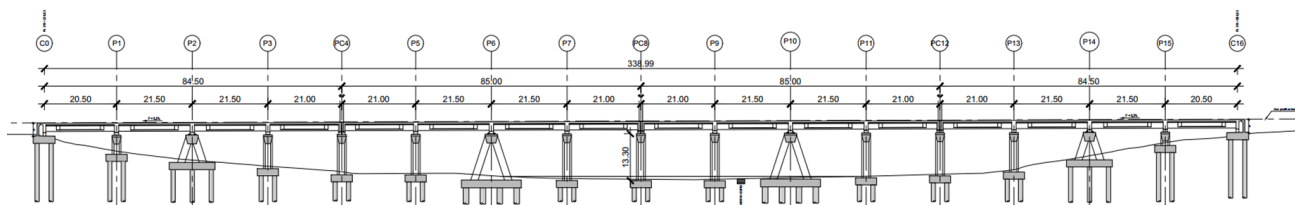


Figura 3-2 – Corte longitudinal

- **Tabuleiro**

O tabuleiro é composto por uma laje contínua em betão armado (Figura 3-3) com 0,40 m de espessura e largura total de 13,00 m, apoiada sobre quatro vigas pré-fabricadas com 1,90 m de altura e alma variável entre 0,25 m a 0,80 m.

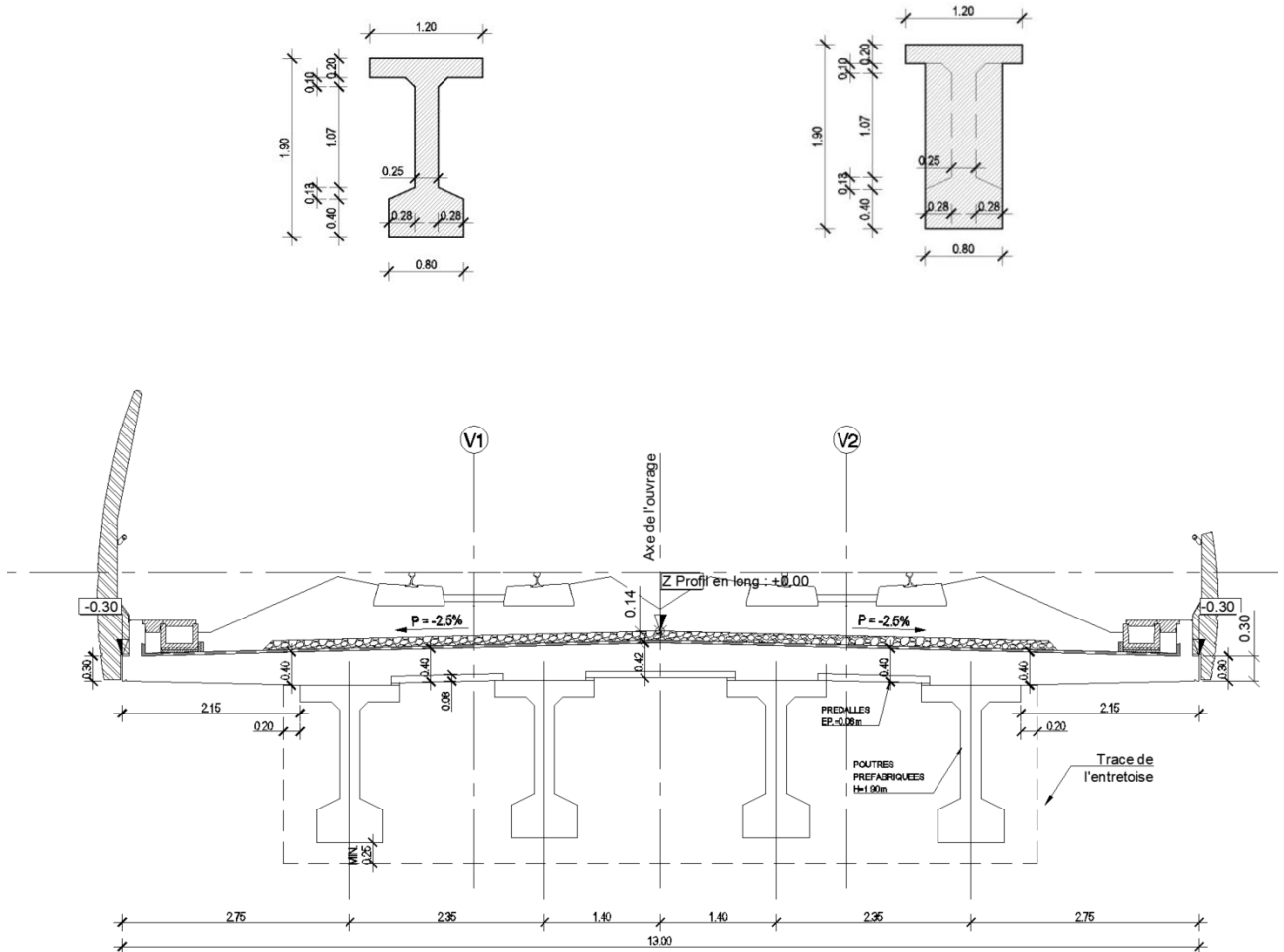


Figura 3-3 – Corte transversal do tabuleiro e geometria das vigas

- **Pilares**

Os pilares estão divididos em duas tipologias (Figura 3-6), ou seja, os pilares correntes e os pilares centrais (deltas). Os pilares correntes são formados por dois fustes geminados de secção trapezoidal, com largura constante de 2,00 m e espessura variável, passando de 2,50 m na face exterior para 1,50 m na face interior, separadas por um vazio central de 5,00 m. Sobre estes fustes assenta uma travessa com 2,50 m de altura, cuja largura varia de 2,50 m na parte superior para 1,50 m na face inferior, tal como ilustra a Figura 3-4.

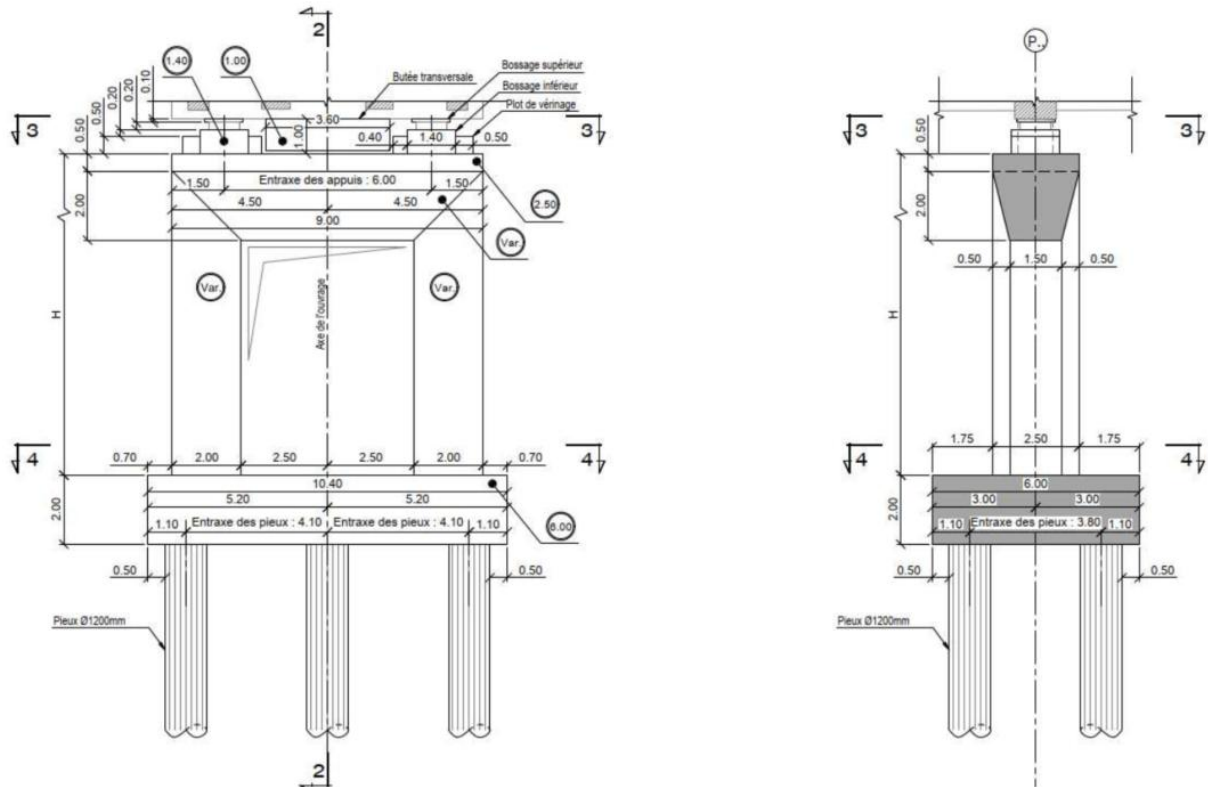


Figura 3-4 – Pilares Correntes

Os pilares centrais ou pilares em delta apresentam fustes duplos de secção retangular (2,00 m x 2,00 m) dispostos de forma inclinada. Sobre estes fustes assenta uma travessa com 2,50 m de altura, cuja largura varia de 3,00 m na parte superior para 2,00 m na face inferior, tal como ilustra a Figura 3-5.

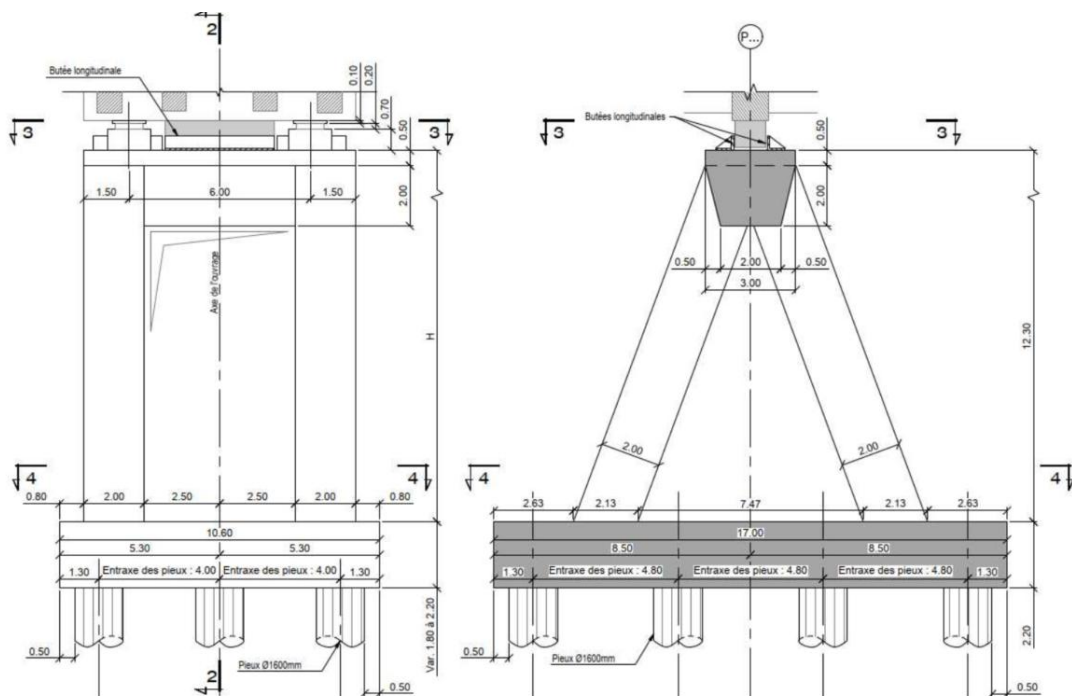


Figura 3-5 – Pilares centrais

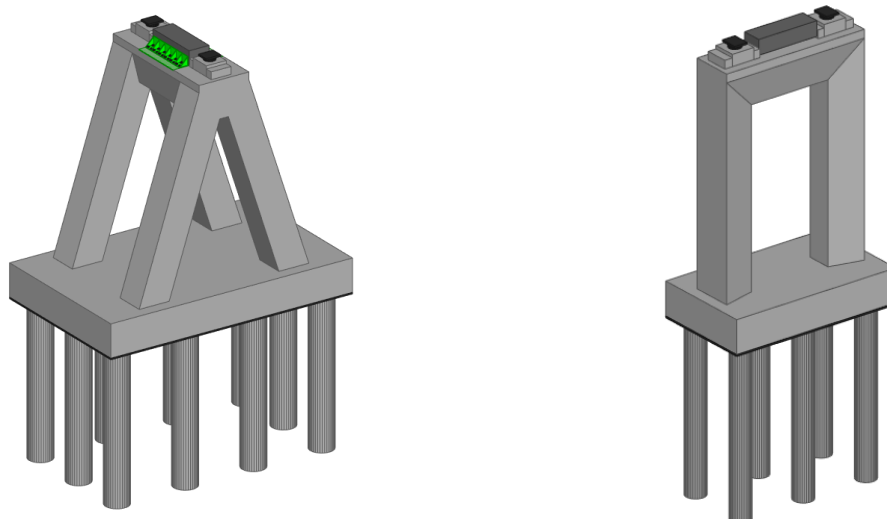


Figura 3-6 – Perspectiva 3D dos pilares centrais em delta e pilares correntes, respetivamente

- **Fundações**

As fundações do viaduto consistem em estacas moldadas no local, organizadas em fiadas, com diâmetros de 1,20 m nos encontros e nos pilares correntes (duas fiadas de três estacas) e entre nove a dez estacas de 1,60 m de diâmetro nos pilares centrais (deltas) que suportam os pontos fixos do tabuleiro. Na Figura 3-7 e Figura 3-8, é possível verificar a configuração geométrica da fundação destes elementos.

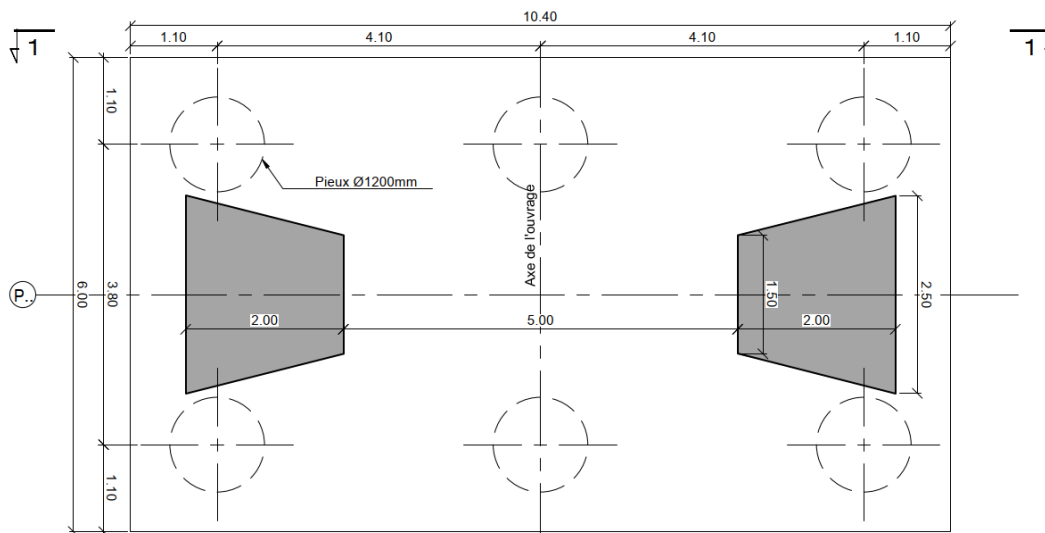


Figura 3-7 – Características geométricas da fundação dos pilares correntes

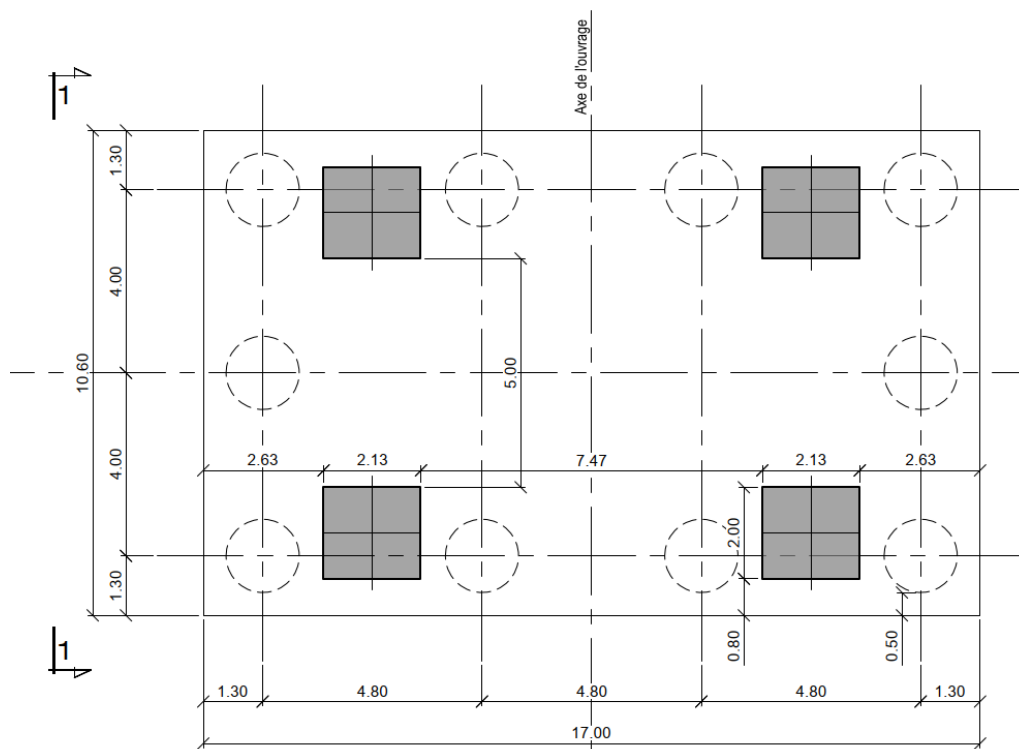


Figura 3-8 – Características geométricas da fundação dos pilares centrais (Deltas)

3.2 Modelação Geométrica

A modelação geométrica é um dos pilares fundamentais na utilização do BIM em projetos de infraestruturas viárias, nomeadamente pontes e viadutos. Consiste na criação precisa e detalhada da geometria do objeto, incorporando todos os elementos estruturais e funcionais, que permitirá análises, simulações e coordenação multidisciplinar.

3.2.1 Inputs Viários

Nesta fase preliminar, são definidos os dados base essenciais para a modelação geométrica. Estes incluem:

- Planta viária: compreendendo o eixo da estrada, os alinhamentos horizontal e vertical, e as cotas altimétricas;
- Perfil longitudinal e transversal da via, que definem os declives, rampas e secções transversais tipo;
- Normas técnicas aplicáveis que condicionam as larguras de faixa, bermas, guardas e outros parâmetros;
- Dados topográficos detalhados do terreno para integração do modelo no ambiente real;
- Características do traçado da via, como curvas, tangentes, superelevação, entre outros.

Estes inputs são cruciais para garantir a compatibilidade do modelo com a realidade do projeto e a sua correta integração na plataforma BIM.

3.2.2 Metodologia da Ferramenta de Modelação

O *Allplan Bridge* é uma solução de modelação paramétrica especializada na concepção de pontes, permitindo a integração de todas as fases do projeto num único modelo BIM. A metodologia adotada pela ferramenta baseia-se na definição sequencial de elementos estruturais, desde o traçado do eixo até à geração automática do modelo analítico, proporcionando uma abordagem eficiente e coerente ao longo do ciclo de vida do projeto.

a) Definição do Eixo (Axis)

O *software* permite a criação do alinhamento viário de duas formas distintas: através da importação de dados existentes em formatos interoperáveis, como o *LandXML*, ou pela definição manual do traçado em planta e perfil longitudinal (Allplan GmbH, 2025).

b) Modelação de Secções Transversais (Cross-Section Modeling)

As secções transversais são definidas de forma totalmente paramétrica, combinando linhas e pontos de referência com variáveis dependentes. Esta abordagem permite a criação de geometrias complexas, ajustáveis a qualquer momento. As alterações efetuadas nas variáveis refletem-se automaticamente em todo o modelo, assegurando consistência e eficiência (Allplan GmbH, 2025).

c) Atribuição de Secções ao Longo do Eixo

Após a definição das secções, estas são atribuídas ao longo do eixo da ponte. A ferramenta permite controlar variações longitudinais através de interpolação paramétrica, assegurando uma transição suave entre diferentes secções e adaptando-se a geometrias complexas.

d) Modelação 3D Paramétrica

Com base no eixo e nas secções definidas, o modelo tridimensional da ponte é gerado de forma completamente paramétrica. Alterações na geometria são automaticamente refletidas nos elementos dependentes, garantindo consistência e precisão em todas as fases do projeto.

e) Visualização e Ajuste do Modelo 3D

O *Allplan Bridge* oferece ferramentas avançadas de visualização, permitindo verificar interferências, discontinuidades ou erros de ligação. As vistas 3D, cortes e estilos visuais personalizados produzidos no *Allplan Engineering* facilitam a análise e o ajuste do modelo, assegurando a sua conformidade com os requisitos do projeto.

Esta metodologia paramétrica proporciona uma abordagem integrada e eficiente à modelação de pontes, permitindo adaptações rápidas a alterações de projeto e assegurando

a consistência entre as diferentes fases do desenvolvimento. No subcapítulo seguinte, será apresentada a aplicação prática desta metodologia na modelação de um viaduto ferroviário específico, detalhando as etapas realizadas e os resultados obtidos.

3.2.3 Modelação

Nesta secção apresentam-se as principais etapas de modelação desenvolvidas até à definição final do modelo geométrico do viaduto. Importa salientar que o *Allplan Bridge* é uma plataforma em constante evolução, cujas funcionalidades e ferramentas são continuamente aperfeiçoadas entre versões. Estas atualizações podem influenciar o fluxo de trabalho e as metodologias de modelação adotadas.

O presente estudo foi realizado com recurso ao *Allplan Bridge 2024*, versão que serviu de base para o desenvolvimento de todo o modelo geométrico do viaduto. Assim, as etapas e procedimentos aqui descritos refletem as funcionalidades e limitações específicas desta versão, podendo divergir parcialmente das versões subsequentes do programa.

3.2.3.1 Eixos

A definição do eixo em planta requer a identificação das coordenadas dos pontos notáveis que compõem o traçado da rodovia, nomeadamente os pontos de tangência (M e P), o raio das curvas, o ângulo inicial e o comprimento de cada elemento

Com base nestes dados, o eixo é definido manualmente no *Allplan Bridge* a partir dos *inputs* fornecidos pelo projeto viário (Figura 3-9).

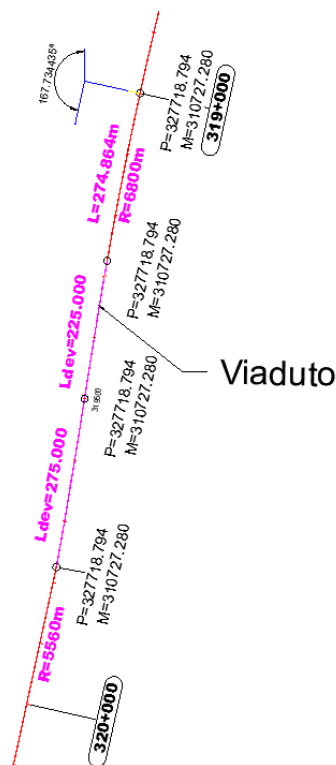


Figura 3-9 – Eixo em planta fornecido pelo projeto viário

O traçado em planta é definido no *Allplan Bridge* através da opção *Axes*, que permite gerar o eixo da obra com base em elementos geométricos básicos, como linhas, arcos ou clotóides, configurando parâmetros como o comprimento, raio de curvatura e ângulos de transição. A Figura 3-10 ilustram o processo de criação e parametrização do eixo.

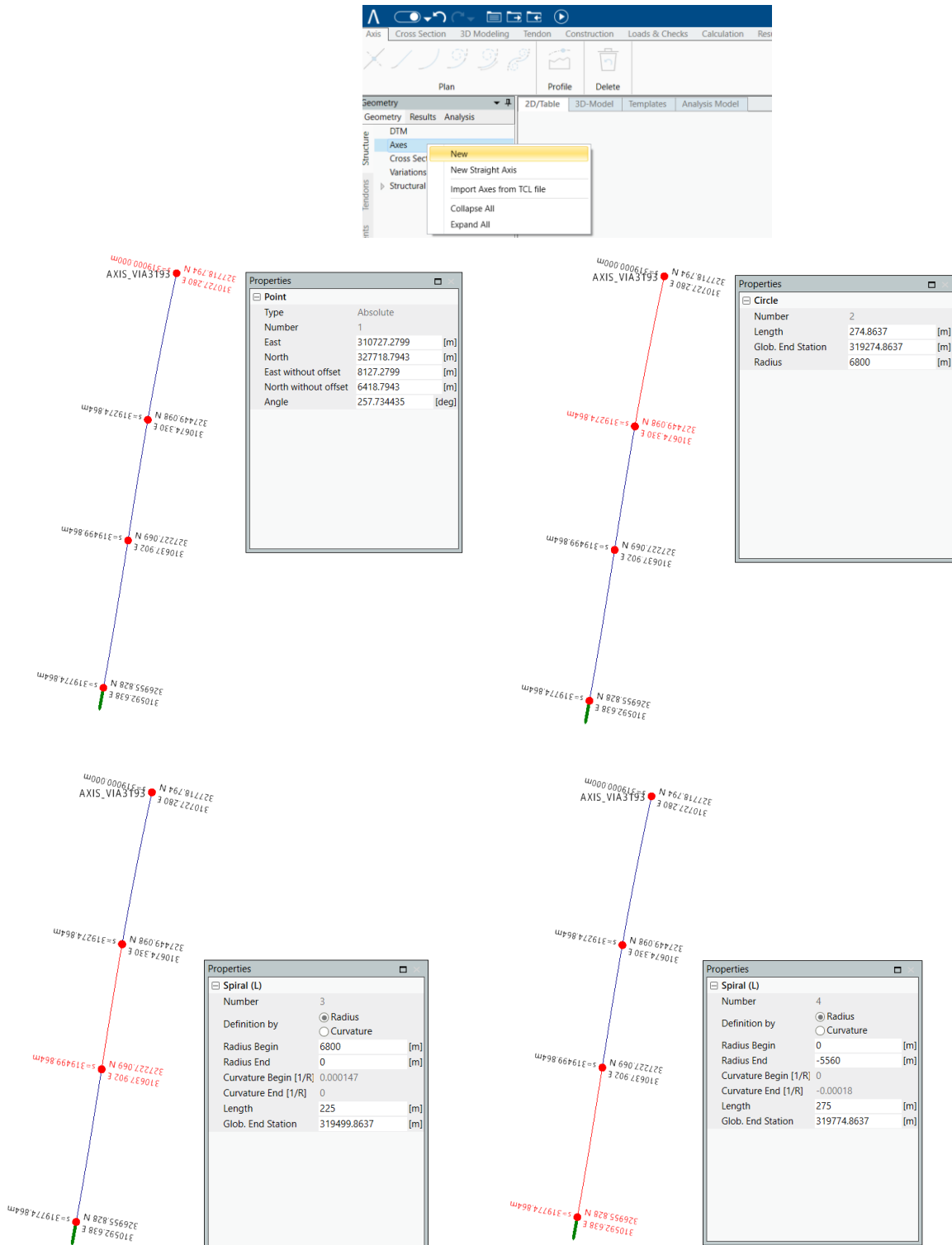


Figura 3-10 – Criação e parametrização do eixo em planta no *Allplan Bridge*

O eixo vertical, ou rasante, é composto por uma sequência de trainéis interligados por curvas verticais (côncavas ou convexas), que asseguram transições suaves entre diferentes inclinações do traçado.

No caso específico do viaduto em estudo, o traçado desenvolve-se sobre um trainel com inclinação constante de 3%, não se justificando, por conseguinte, a introdução de curvas verticais. Assim, o perfil altimétrico foi definido de forma linear e direta no *Allplan Bridge*, mediante a introdução manual dos pontos extremos do eixo e respetivas cotas, dispensando a necessidade de elementos de transição.

Associado ao eixo em planta, o *Allplan Bridge* gera automaticamente a aba “*Profile*”, que permite definir o perfil longitudinal. Nesta função, é apresentada uma janela de parametrização onde se inserem manualmente a estação (*Station absolute*) e a cota (*Height*) de cada ponto.

No presente caso, foram definidos dois pontos de referência: o primeiro localizado no quilómetro 319,000 com cota 134,844 m, e o segundo ao quilómetro 319,775 com cota 137,169 m. A partir destes dados, o software gera automaticamente o perfil longitudinal, correspondente a um trainel contínuo com inclinação constante de 3 %, conforme ilustrado na Figura 3-11.

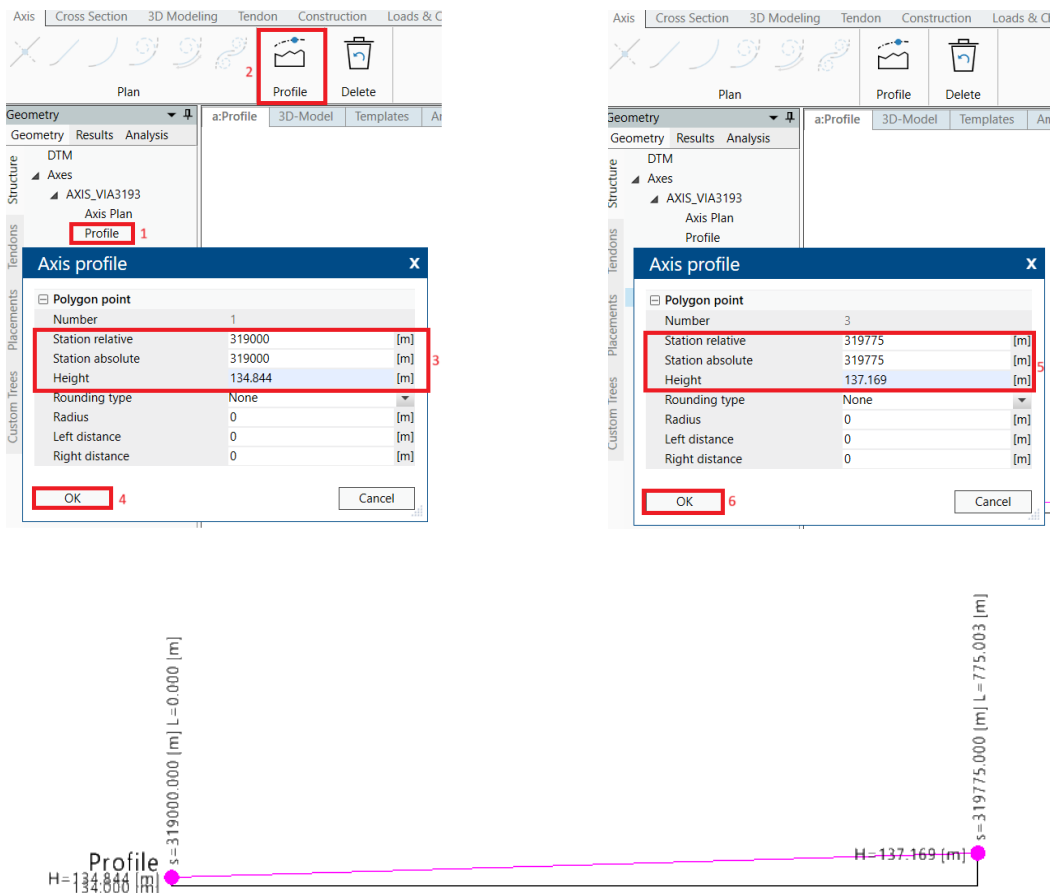


Figura 3-11 – Definição do Perfil Longitudinal

3.2.3.2 Secções Transversais

Tabuleiro

Após a definição do eixo em planta e do perfil longitudinal, o passo seguinte na modelação paramétrica do viaduto consiste na criação das secções transversais que representam a geometria da estrutura ao longo do eixo de referência. Estas secções são fundamentais para gerar o modelo tridimensional e, posterior, modelo analítico do viaduto.

No *Allplan Bridge*, a definição das secções é realizada de forma paramétrica, permitindo a sua variação ao longo do comprimento da estrutura. Cada secção pode ser composta por um ou mais elementos, definidos por meio de parâmetros geométricos rigorosos, como a largura do tabuleiro, altura das vigas, a espessura das lajes, as dimensões das consolas.

A construção geométrica da secção baseia-se na utilização de linhas e pontos paramétricos, que são combinadas para gerar o seu contorno. Estas entidades podem assumir diferentes configurações, consoante a necessidade de modelação.

Os principais tipos de linhas disponíveis incluem: linhas paralelas, linhas paralelas por direção, linhas definidas por dois pontos de intersecção, linhas definidas por ângulo, linhas definidas por ângulo relativo, linhas definidas por fator relativo e pontos paramétricos.

Secção com vigas pré-fabricadas

A Criação da secção transversal do tabuleiro iniciou-se com a definição de uma nova secção paramétrica através da opção *New*, que permite gerar secções personalizadas, Figura 3-12. O *Allplan Bridge* também disponibiliza a função *New Simple Section* para a criação rápida de secções pré-definidas (retangulares ou circulares) e permite a importação ou exportação de secções, facilitando a reutilização e partilha entre diferentes projetos.

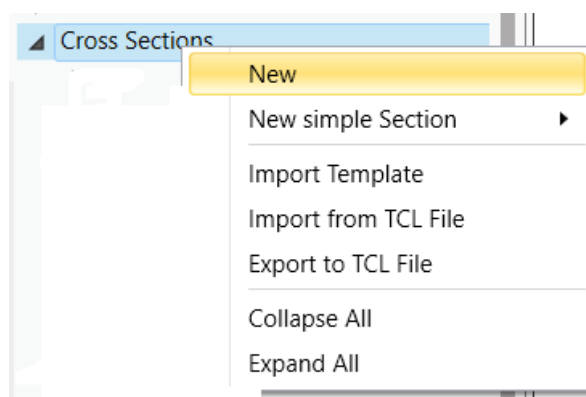




Figura 3-12 – Criar uma secção transversal

A geometria da secção é construída a partir de linhas paramétricas verticais, horizontais e inclinadas, que definem o seu contorno e as respetivas relações geométricas internas. Inicialmente, foram traçadas as linhas verticais, criadas com a função de linhas

paralelas  e linhas por fator relativo . Esta última opção permite posicionar uma linha numa relação proporcional à distância entre duas entidades-referência, por exemplo 0,5 para situá-la exatamente a meio dos dois elementos. Esta configuração paramétrica ajusta-se automaticamente a alterações na geometria, garantindo a consistência e coerência do modelo geométrico.

As distâncias estabelecidas desta forma encontram-se representadas na Figura 3-13.

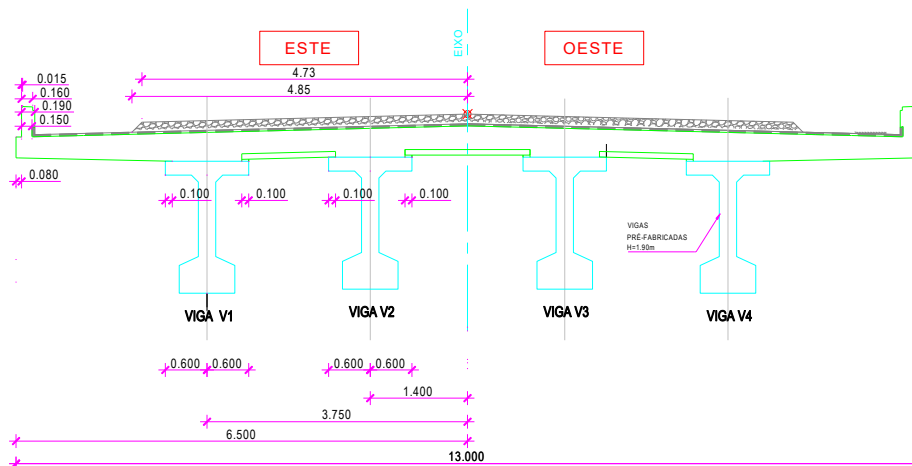


Figura 3-13 – Distâncias para definir as linhas verticais

A metodologia adotada consistiu em modelar inicialmente o lado esquerdo da secção transversal utilizando linhas paralelas a partir do eixo local (Y_{loc}), conforme ilustrado na Figura 3-14. Em seguida, as linhas foram replicadas para o lado direito recorrendo à função de linha por fator relativo, a qual permite gerar elementos simétricos de forma paramétrica, mantendo a coerência geométrica entre ambos os lados (Figura 3-15). Esta abordagem assegura que qualquer alteração efetuada nas distâncias ou nos parâmetros geométricos do lado esquerdo se reflete automaticamente no lado direito, preservando a simetria e a consistência do modelo. O resultado com a totalidade das linhas verticais definidas, é apresentado na Figura 3-16.

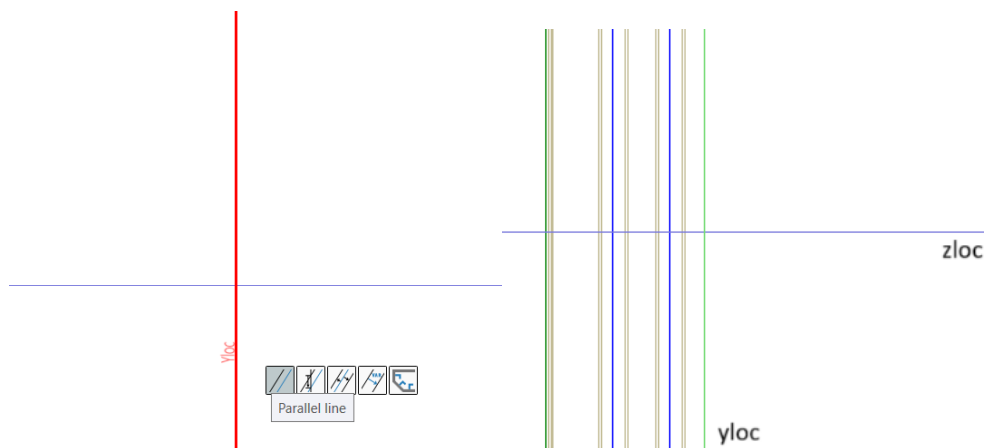


Figura 3-14 – Definição das linhas verticais do lado esquerdo da secção transversal

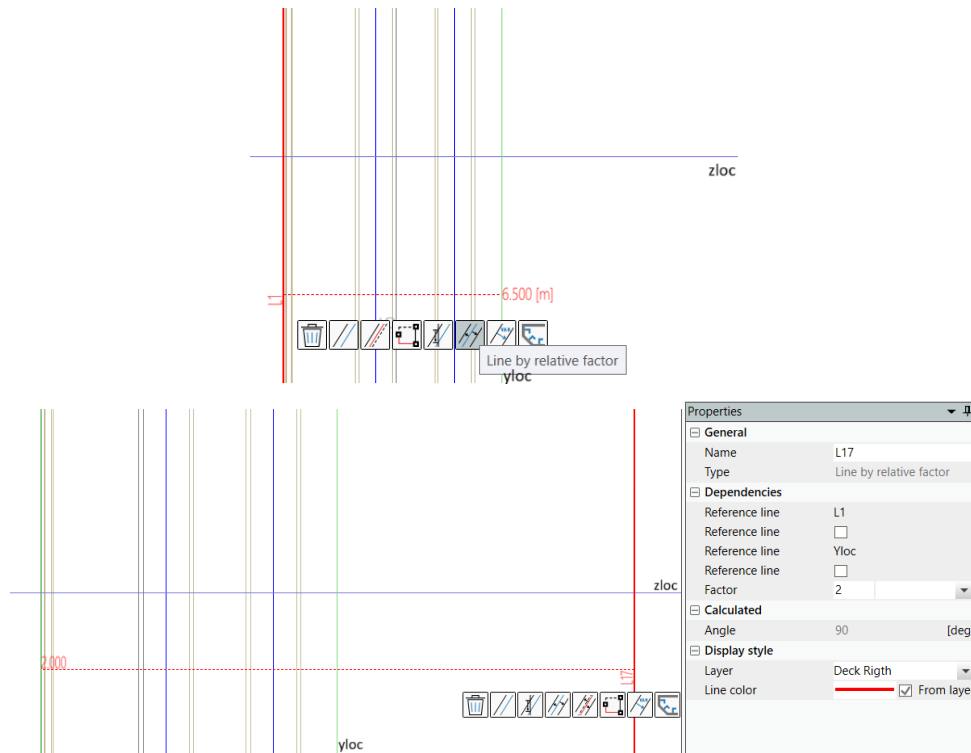


Figura 3-15 – Definição das linhas verticais do lado direito da secção transversal

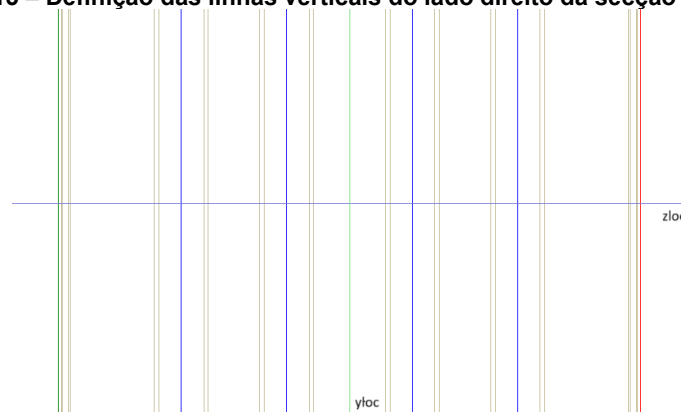



Figura 3-16 – Linhas verticais obtidas

Em seguida, definiram-se as linhas inclinadas, responsáveis por controlar a sobrelevação transversal do tabuleiro. Estas foram geradas através do comando linha por ângulo  e complementadas pela ferramenta *Create and Assign Variable*, que permite associar variáveis paramétricas a cada linha (Figura 3-17). Esta abordagem possibilita a variação contínua da inclinação ao longo do traçado, ajustando-se automaticamente à topografia e ao eixo da via. As distâncias e inclinações definidas encontram-se representadas na Figura 3-18.

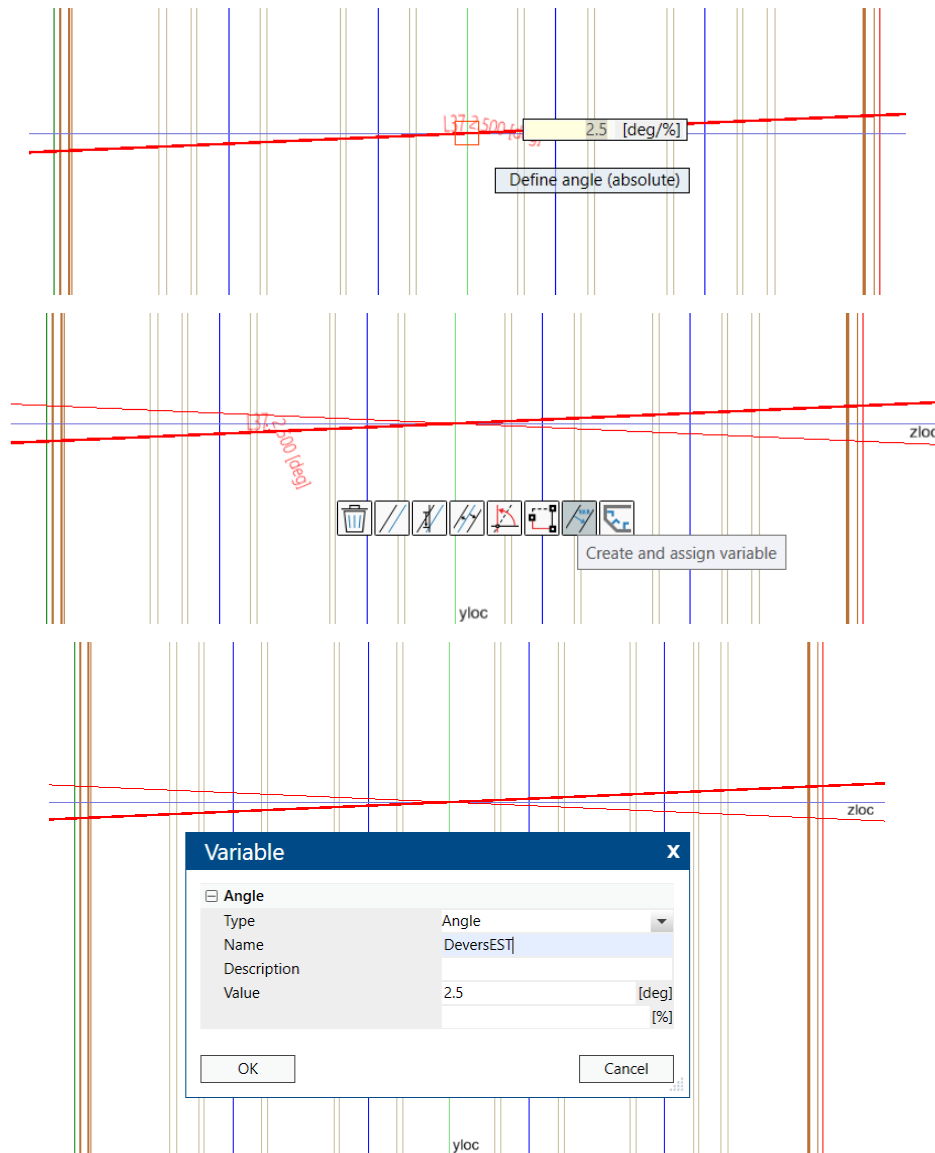


Figura 3-17 – Criação das linhas inclinadas com variações

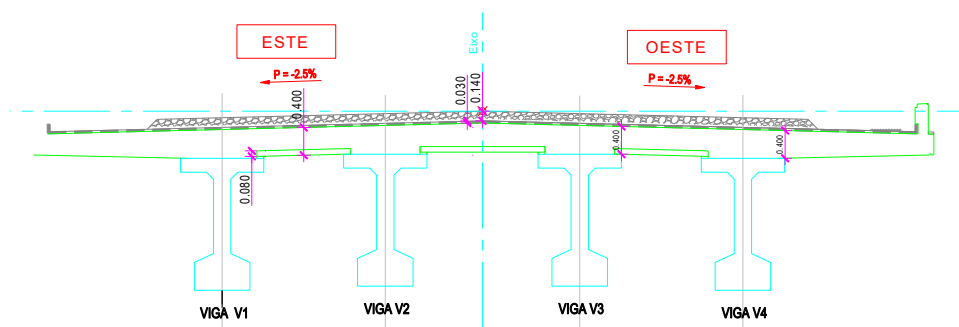


Figura 3-18 – Distâncias entre linhas inclinadas

As linhas horizontais também foram criadas de forma análoga, recorrendo a linhas paralelas e consoante as distâncias apresentadas na Figura 3-19, completando assim a grelha auxiliar da secção.

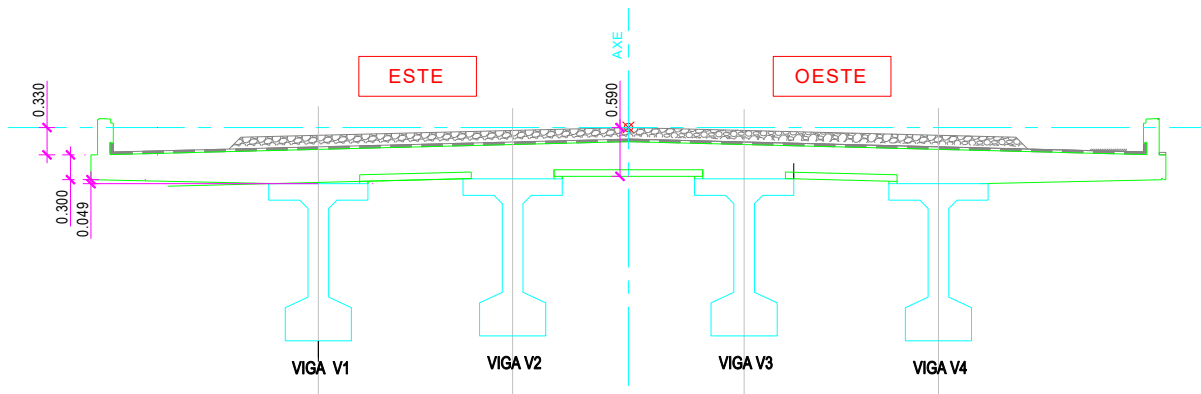


Figura 3-19 – Distâncias para definir as linhas horizontais

Na Figura 3-20 é possível observar o conjunto de linhas verticais, horizontais e inclinadas, bem como os pontos de referência utilizados para a definição do contorno da seção transversal.

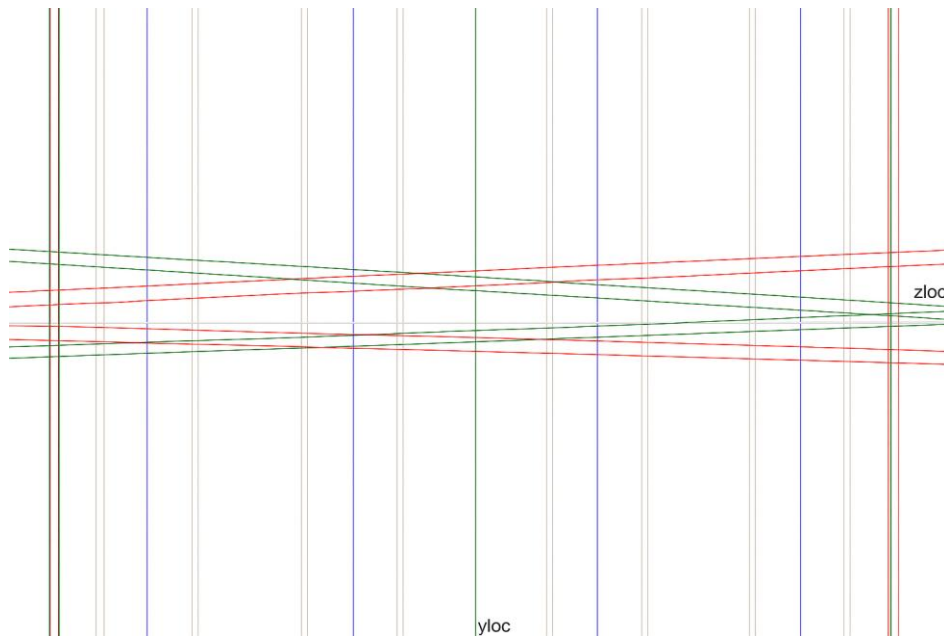


Figura 3-20 – Linhas auxiliares e pontos utilizados para definir contorno da seção transversal

A definição do contorno final da seção foi realizada com a ferramenta *Boundary* (Figura 3-21), que delimita o contorno formado pelas linhas e pontos paramétricos. Posteriormente, recorreu-se à ferramenta *Structural Units* (Figura 3-22), para converter este limite numa entidade reconhecida pelo modelo paramétrico, classificando os elementos como *Beam* ou *Load*, de acordo com a respetiva função estrutural.

Esta classificação é essencial em modelos destinados ao cálculo estrutural, garantindo a correta identificação dos componentes. Contudo, em modelos puramente geométricos, a distinção tem apenas uma função visual, permitindo diferenciar os elementos por cores.

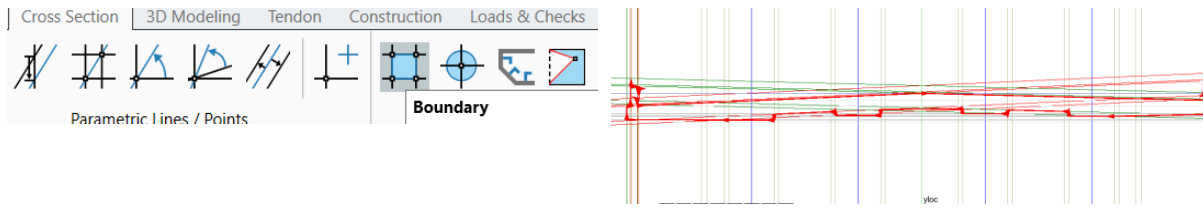


Figura 3-21 – Criação do contorno da secção com a ferramenta *Boundary*

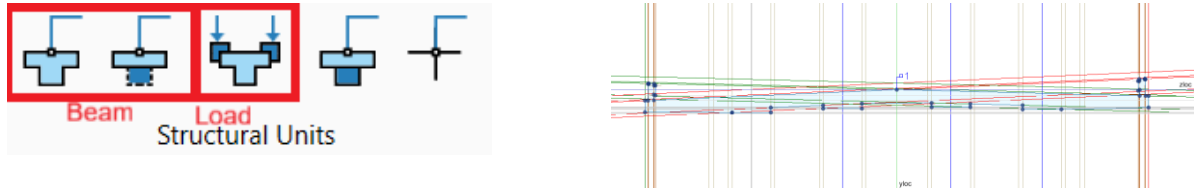


Figura 3-22 – Conversão do contorno em elementos estruturais através da ferramenta *Structural Units*

Dado a natureza do tabuleiro, foram definidos pontos de referência (P1, P2, P3 e P4) na secção transversal (Figura 3-23), que servem de base para o posicionamento das vigas no modelo tridimensional.

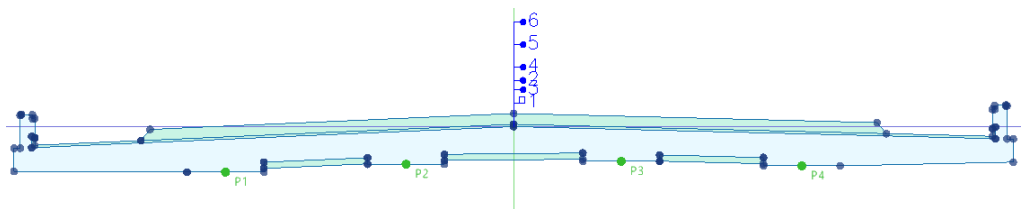


Figura 3-23 – Secção corrente final e pontos de referência para as vigas

Atendendo à variação dos pontos de controlo das vigas (Figura 3-24), que dependem da inclinação da secção, definiram-se, a partir da secção-base apresentada na Figura 3-23, três novas secções geométricas: uma secção corrente inclinada e duas secções sobre pilares, ajustadas para as direções Este e Oeste, garantindo o correto alinhamento dos elementos estruturais ao longo do tabuleiro.

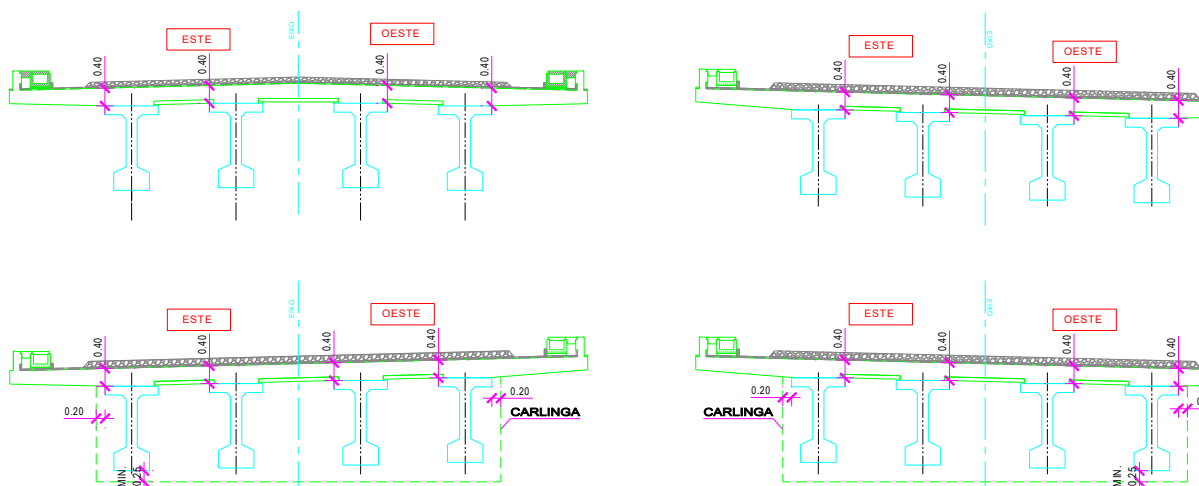


Figura 3-24 – Pontos de controlo das vigas em função da inclinação da secção

Para criação destas secções, procedeu-se à duplicação da secção corrente, adaptando os respetivos *boundaries* às diferentes condições geométricas de cada situação. O ponto de referência P5 foi estabelecido como base para o posicionamento posterior dos pilares no modelo (Figura 3-25, Figura 3-26 e Figura 3-27).

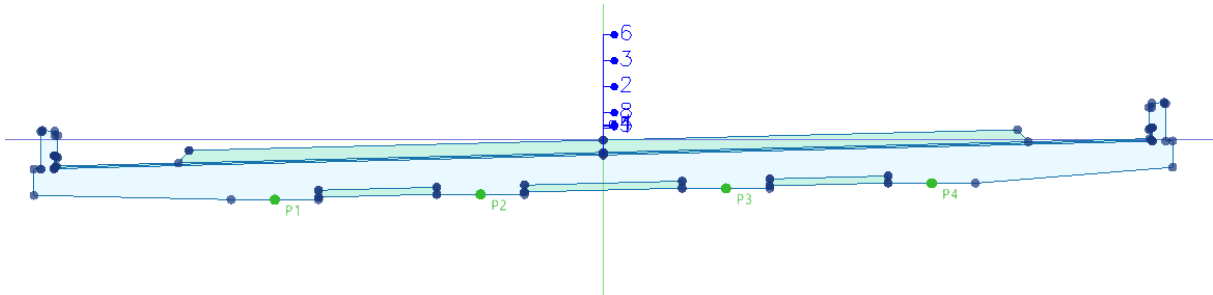


Figura 3-25 – Secção corrente Inclinada

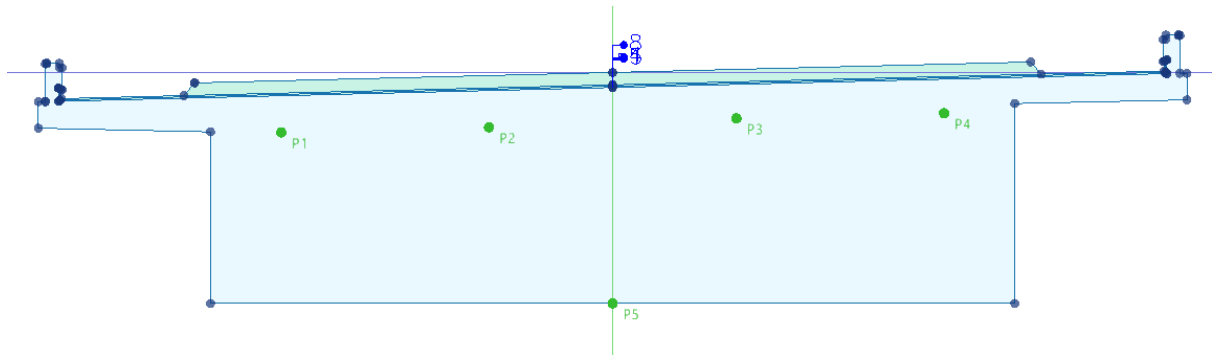


Figura 3-26 – Secção sobre pilares com inclinação para Este

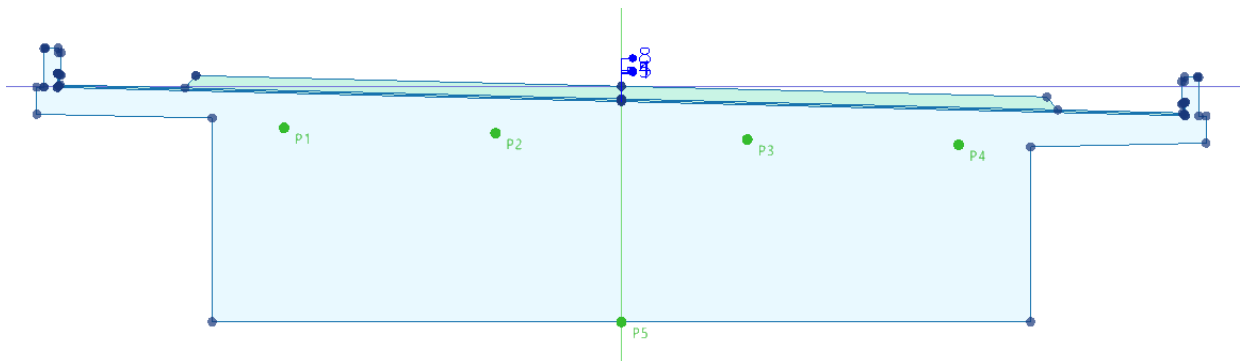
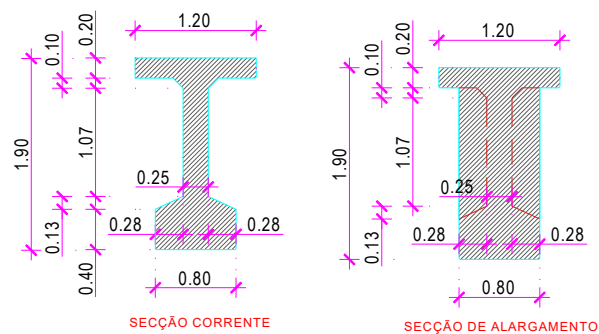
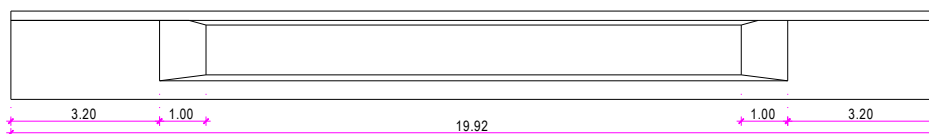


Figura 3-27 – Secção sobre pilares com inclinação para Oeste

Posteriormente à definição das secções transversais do tabuleiro, procedeu-se à modelação das secções transversais das vigas, de acordo com a geometria apresentada na Figura 3-28.



PA - VIGA - L=19.92m



PB - VIGA - L=20.72m

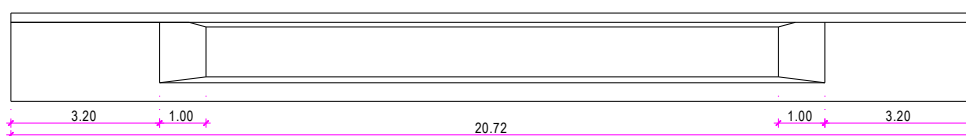


Figura 3-28 – Geometria das vigas pré-fabricadas

O processo de definição destas secções seguiu a mesma metodologia adotada para o tabuleiro, iniciando-se pelo traçado das linhas de referência (Figura 3-29), seguido da atribuição das variáveis para definição da secção de alargamento (Figura 3-30) e concluindo com a definição dos *boundaries* e a atribuição unidades estruturais (Figura 3-31).

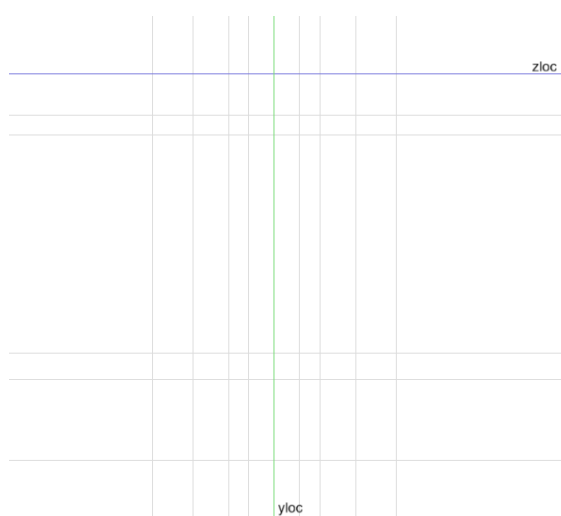


Figura 3-29 – Linhas de referência para a secção das vigas

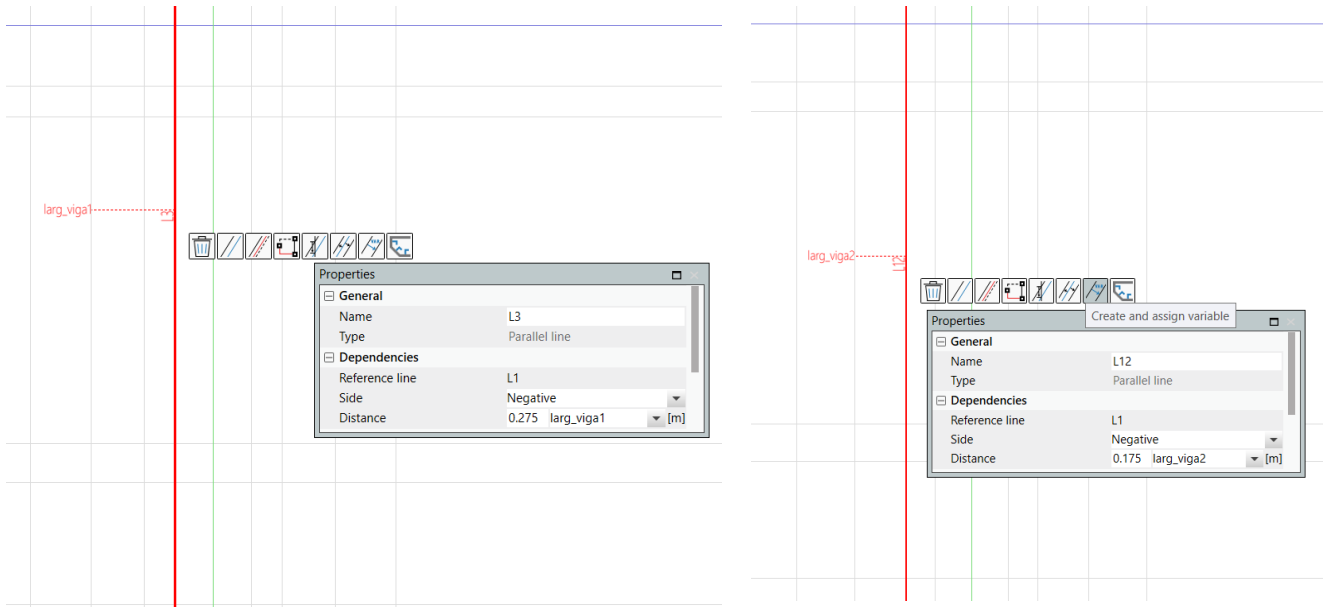


Figura 3-30 – Definição das linhas variáveis

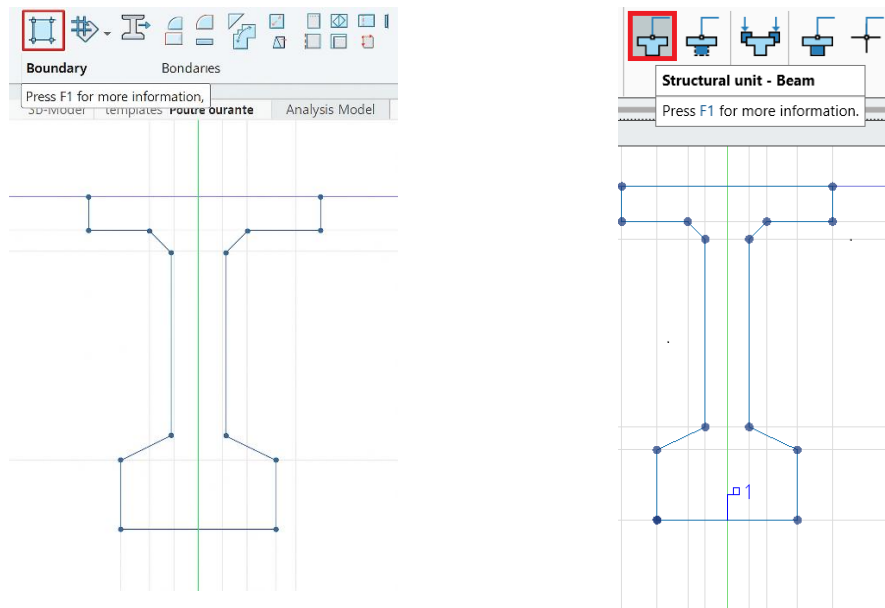


Figura 3-31 – Criação do boundary e atribuição da unidade estrutural

Tendo as secções transversais, procedeu-se à definição dos gráficos de variação correspondentes às linhas variáveis da secção transversal. Estes gráficos descrevem a evolução das variáveis ao longo do eixo, nomeadamente as relacionadas com a sobrelevação (*devers*) do tabuleiro (Figura 3-32) e o alargamento das vigas pré-fabricadas (Figura 3-33 e Figura 3-34).

No caso específico do viaduto em estudo, as variações geométricas do tabuleiro foram determinadas a partir dos dados do projeto viário (Anexo I), servindo de base para a introdução dos parâmetros no *Allplan Bridge*.

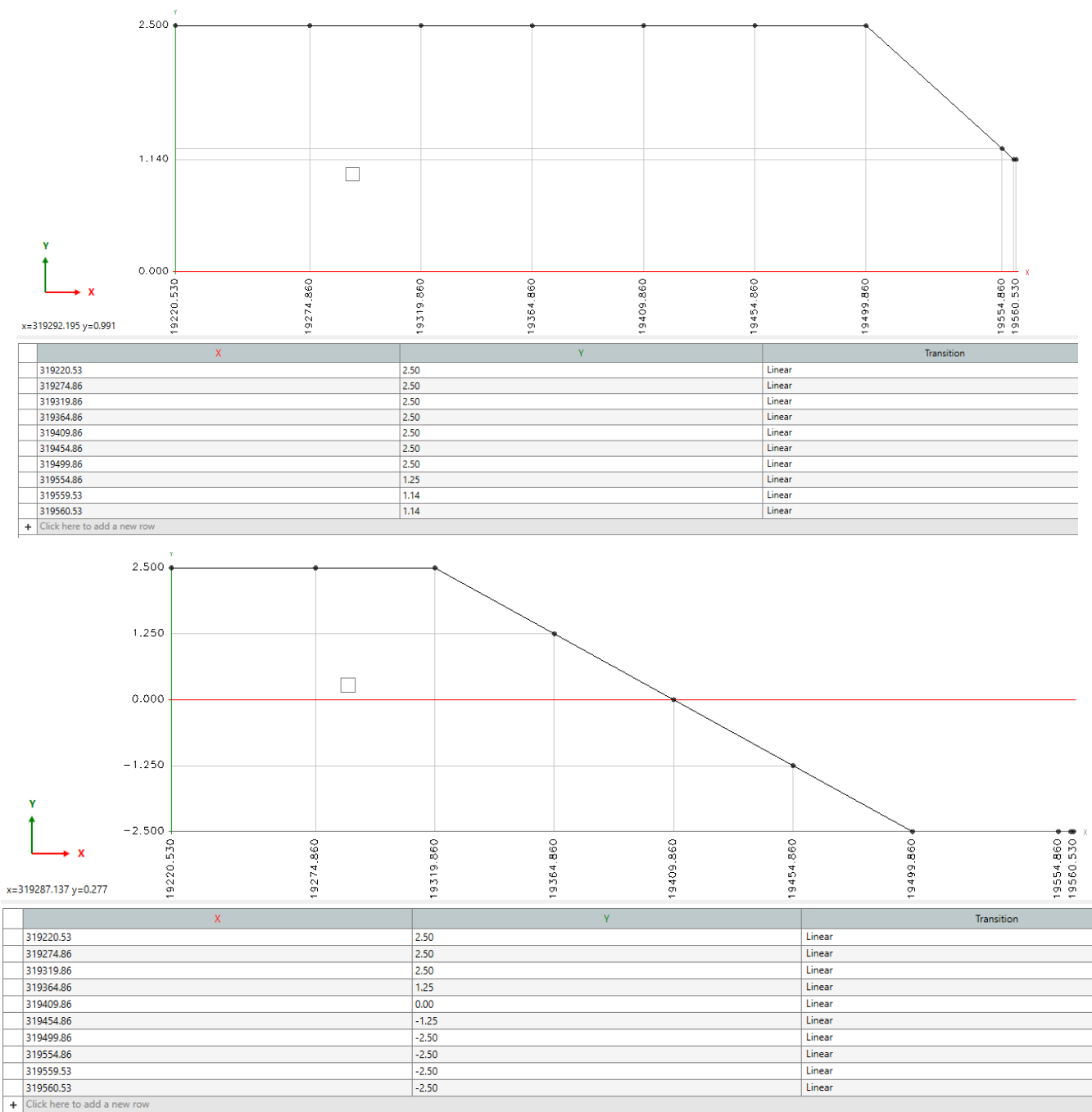
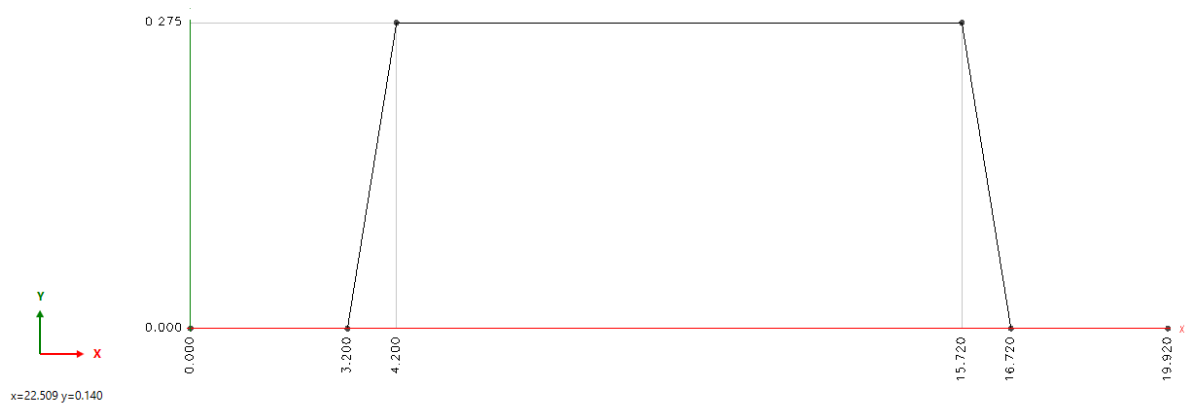
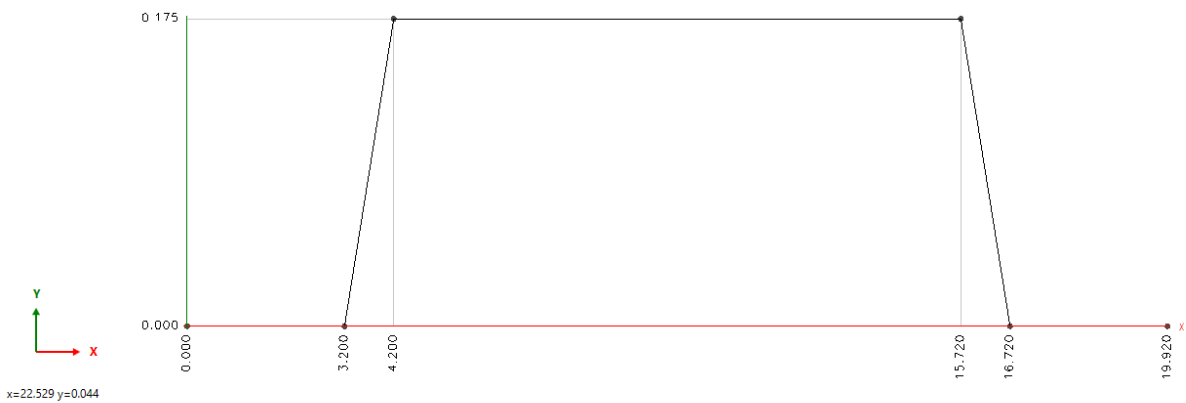


Figura 3-32 – Definição dos gráficos de variação da sobrelevação do tabuleiro do lado Este e Oeste



X	Y	Transition
0	0	Linear
3.20	0	Linear
4.20	0.275	Linear
15.72	0.275	Linear
16.72	0	Linear
19.92	0	Linear



X	Y	Transition
0	0	Linear
3.20	0	Linear
4.20	0.175	Linear
15.72	0.175	Linear
16.72	0	Linear
19.92	0	Linear

Figura 3-33 – Gráficos de variações para as vigas do PA – L = 19.92 m (larg_viga1 e larg_viga2)

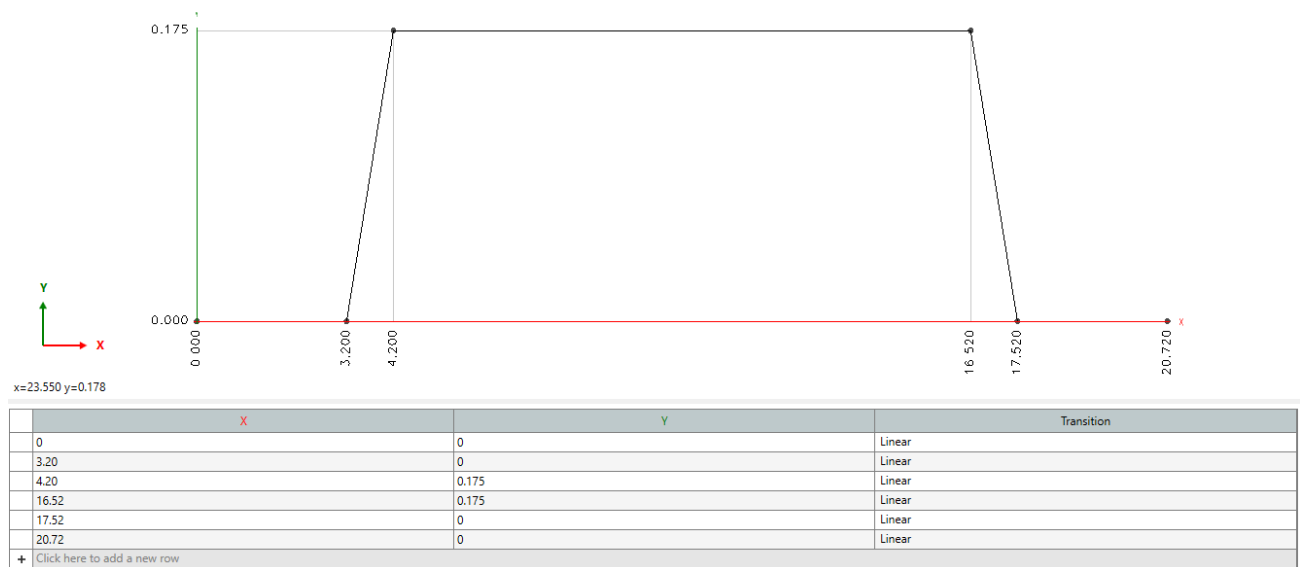
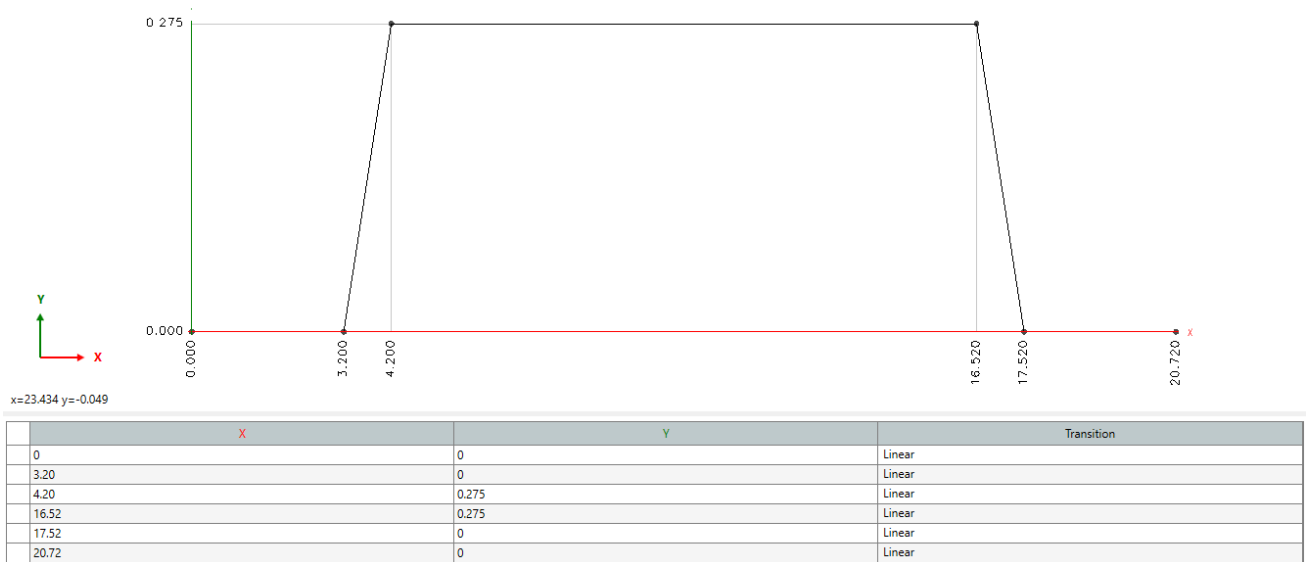


Figura 3-34 – Gráficos de variações para as vigas do P B – L = 20.72 m (larg_viga1 e larg_viga2)

A linha L3, correspondente à variável larg_viga1, foi definida a partir da linha de referência L1 (Figura 3-35), representando a variação da largura da viga ao longo do tabuleiro. O gráfico de variação obtido demonstra que, para $x = 0$ m e $x = 3,20$ m, a L3 coincide com a L1, indicando a largura máxima da viga. Já para $x = 4,20$ m, observa-se um deslocamento de 0,275 m em relação à L1, marcando o início do estreitamento. O mesmo raciocínio foi aplicado às restantes vigas, garantindo coerência geométrica e continuidade na transição entre as seções ao longo do desenvolvimento do tabuleiro.

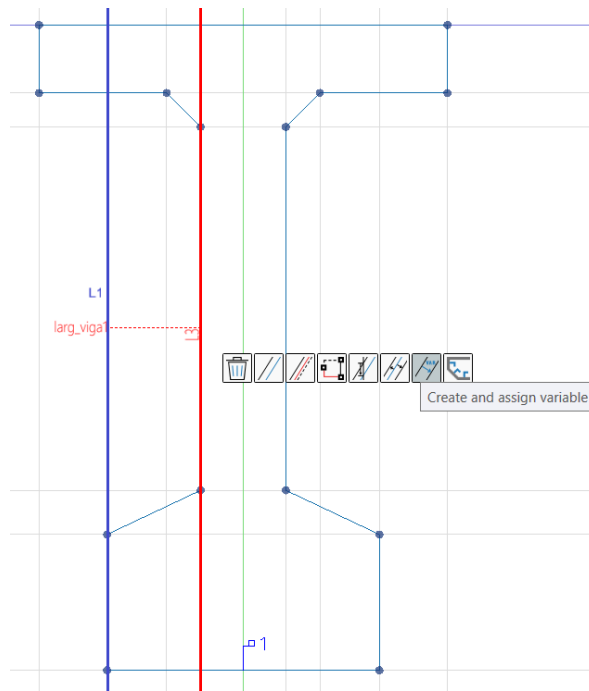


Figura 3-35 – Linhas de controle para parametrização da largura das vigas ao longo do tabuleiro.

Secção com vigas betonadas in-situ

A geometria desenvolvida para o tabuleiro *in situ* é constituída por vigas retangulares de betão armado, conforme ilustrado a Figura 3-36.

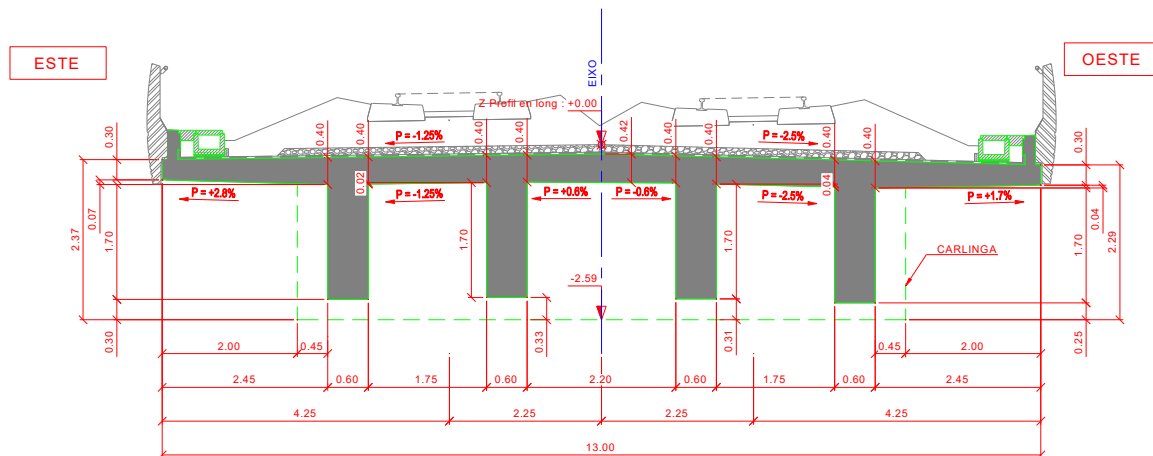


Figura 3-36 – Tabuleiro in situ

O procedimento de modelação é análogo ao aplicado na secção com vigas pré-fabricadas, distinguindo-se apenas pelo facto de as vigas serem integradas diretamente na definição da secção do tabuleiro no Allplan Bridge, em vez de constituírem entidades estruturais independentes. Este processo encontra-se ilustrado na Figura 3-37, Figura 3-38 e Figura 3-39, que representam as diferentes secções do tabuleiro.

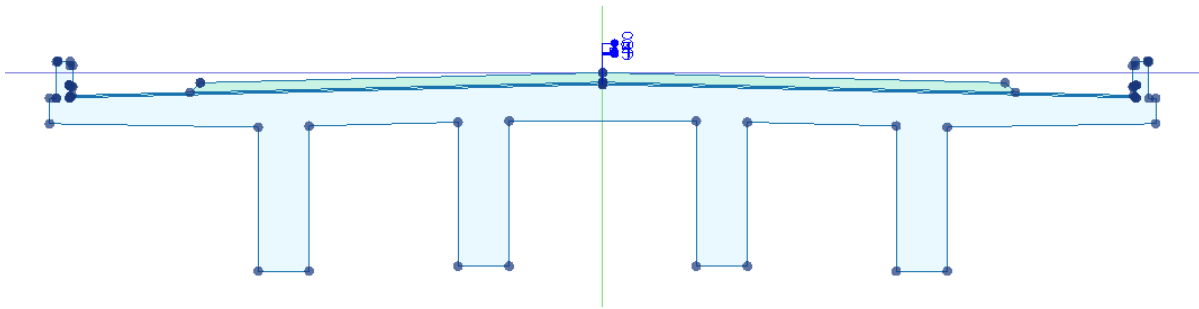


Figura 3-37 – Secção corrente do tabuleiro *in situ*

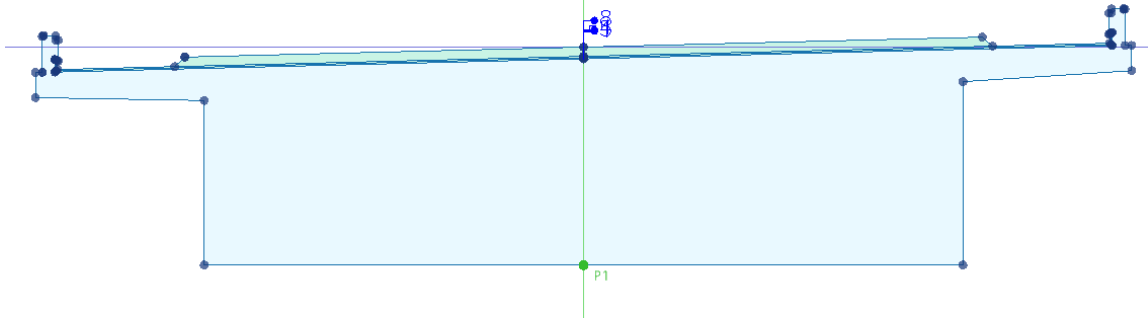


Figura 3-38 – Secção sobre pilares, inclinação Este do tabuleiro *in situ*

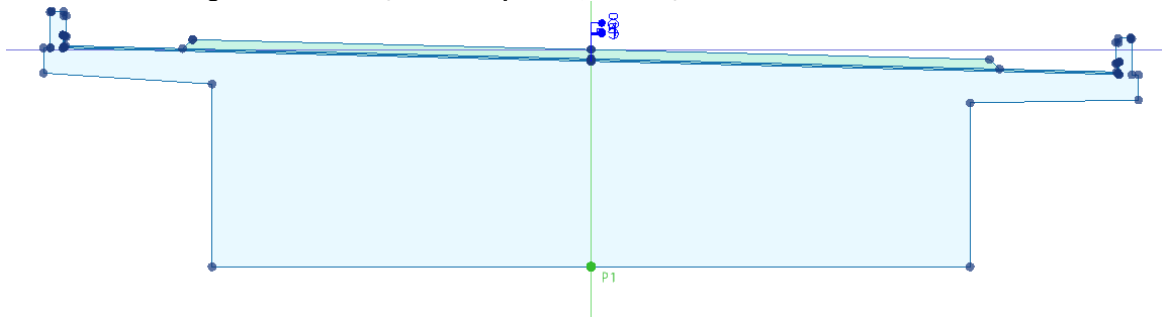


Figura 3-39 – Secção sobre pilares, inclinação Oeste do tabuleiro *in situ*

Para esta solução, as vigas não apresentam variação geométrica ao longo do eixo, mantendo-se constantes em toda a extensão do tabuleiro. No entanto, as linhas associadas às sobrelevações (devers) do tabuleiro conservam as mesmas variações definidas para a solução com vigas pré-fabricadas (Figura 3-32).

Pilares

Para os pilares foram desenvolvidas quatro secções distintas, representativas das diferentes partes constituintes: as estacas, o maciço de encabeçamento de estacas, o fuste e a travessa superior. Estas secções foram definidas tanto para os pilares correntes (Figura 3-40, Figura 3-41, Figura 3-42 e Figura 3-43) como para os pilares em delta (Figura 3-44, Figura 3-45, Figura 3-46 e Figura 3-47), de forma a reproduzir com precisão as diferenças geométricas e construtivas entre ambos os tipos de secções.

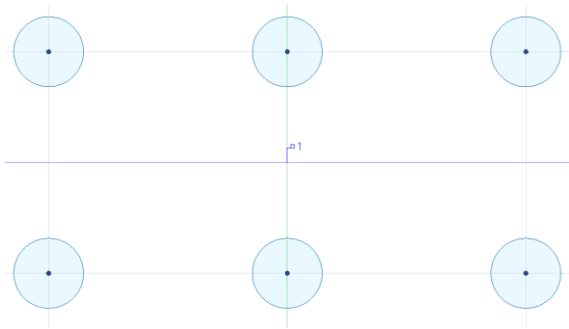


Figura 3-40 – Secção das estacas dos pilares correntes

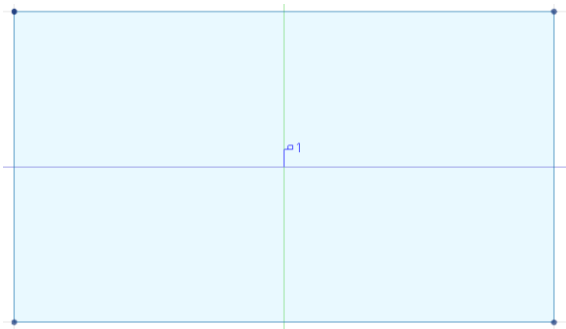


Figura 3-41 – Secção dos maciços dos pilares correntes



Figura 3-42 – secção do fuste dos pilares correntes

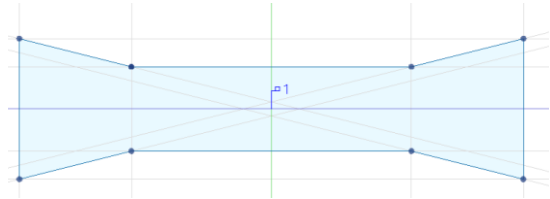


Figura 3-43 – secção da travessa dos pilares correntes

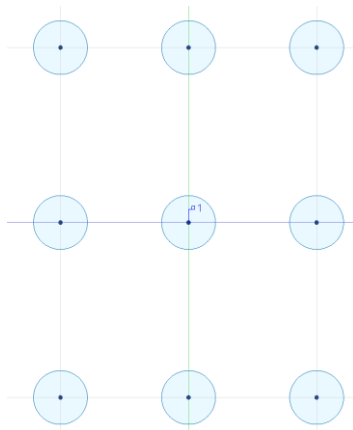


Figura 3-44 – Secção das estacas dos pilares delta



Figura 3-45 – Secção dos maciços dos pilares delta

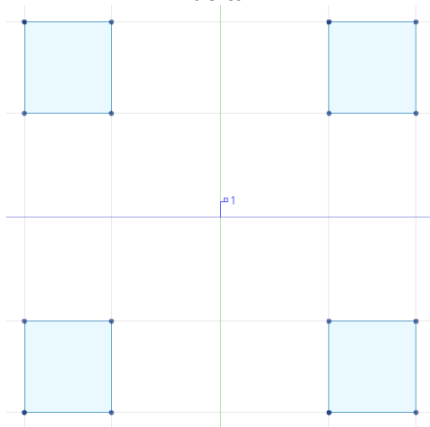


Figura 3-46 – secção do fuste dos pilares delta

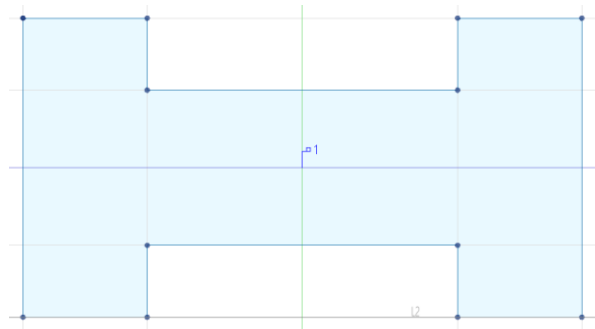


Figura 3-47 – secção da travessa dos pilares delta

A secção correspondente à travessa dos pilares correntes, apresenta variações de altura ao longo do desenvolvimento da estrutura, conforme ilustrado na Figura 3-48.

Para definir esta variação, é criada inicialmente a variável paramétrica (Figura 3-49) e, em seguida, o respetivo gráfico de variação (Figura 3-50).

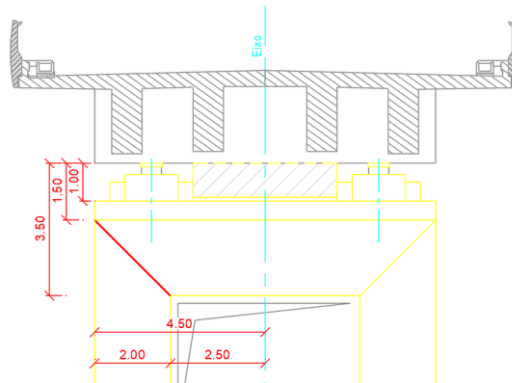


Figura 3-48 – Variação geométrica da travessa dos pilares correntes

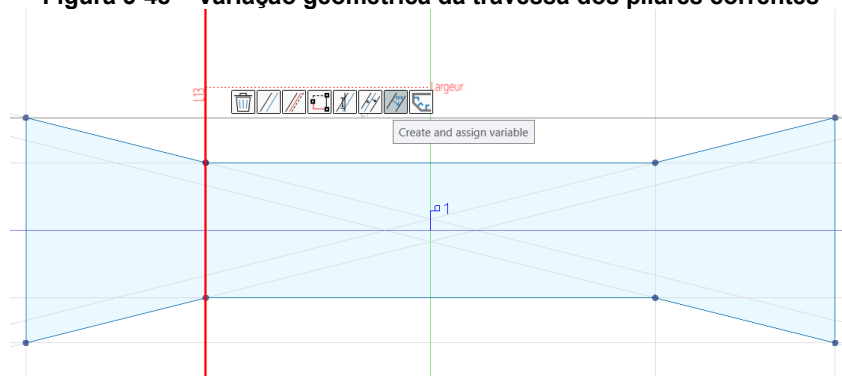
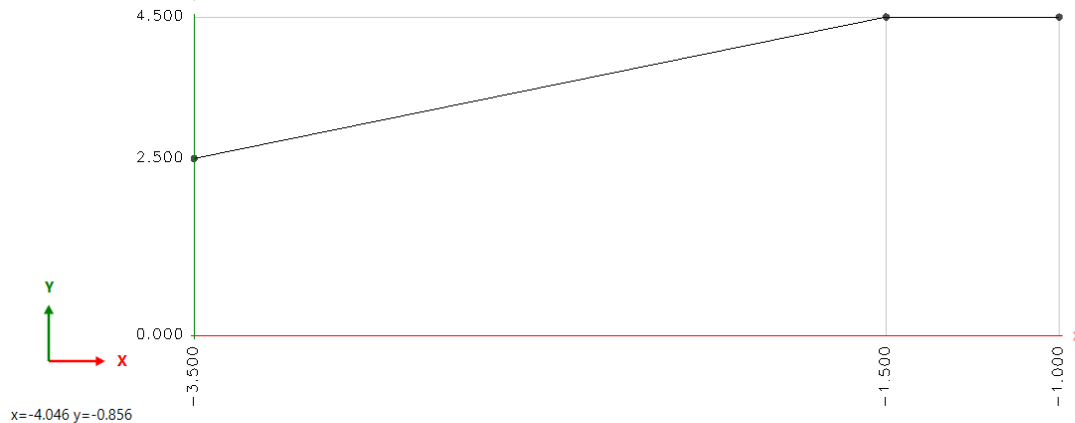


Figura 3-49 – Linha de controlo para definição da variação da travessa dos pilares correntes.



	X	Y	Transition
	-3.5	2.5	Linear
	-1.5	4.5	Linear
	-1	4.5	Linear
+ Click here to add a new row			

Figura 3-50 – Gráfico de variação da altura da travessa dos pilares correntes

Tal como nos pilares correntes, os pilares em delta apresentam variações geométricas (Figura 3-51), nomeadamente a inclinação dos fustes e da travessa superior. Estas variações são definidas a partir das linhas de controlo criadas nas secções transversais (Figura 3-52 e Figura 3-53) e parametrizadas através dos gráficos de variação (Figura 3-54 e Figura 3-55), assegurando uma transição contínua entre as diferentes secções do pilar.

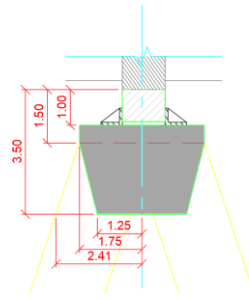


Figura 3-51 – Variação do fuste e travessa dos pilares delta

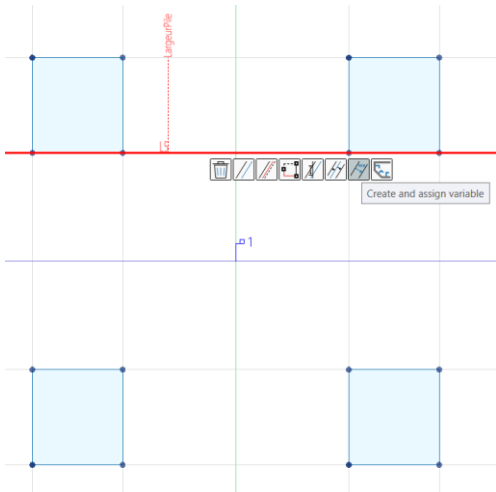


Figura 3-52 – Linha de controle para definição da inclinação dos fustes dos pilares em delta.

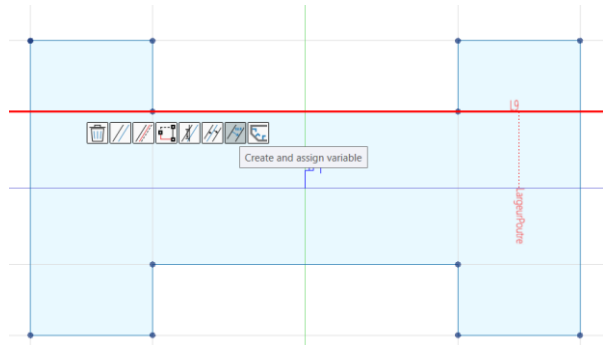


Figura 3-53 – Linha de controle para definição da inclinação da travessa dos pilares em delta.

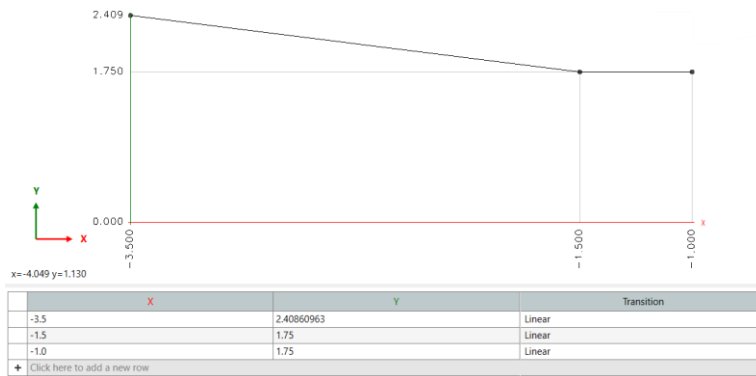


Figura 3-54 – Gráfico de variação da inclinação do fuste dos pilares em delta

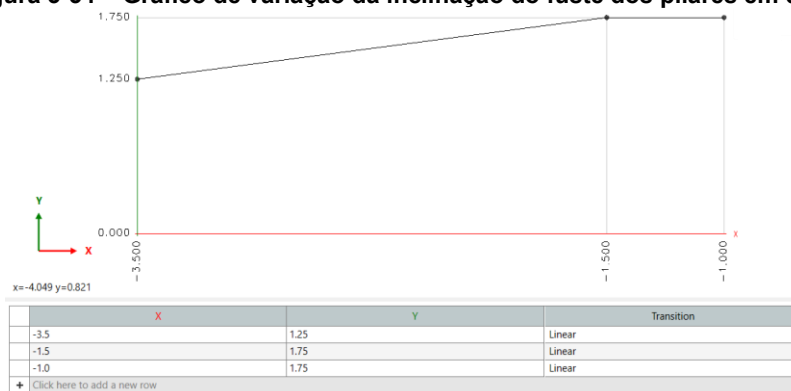


Figura 3-55 – Gráfico de variação da inclinação da travessa dos pilares em delta

Encontros

Os encontros foram definidos com base em quatro secções transversais distintas, conforme ilustrado na Figura 3-56.

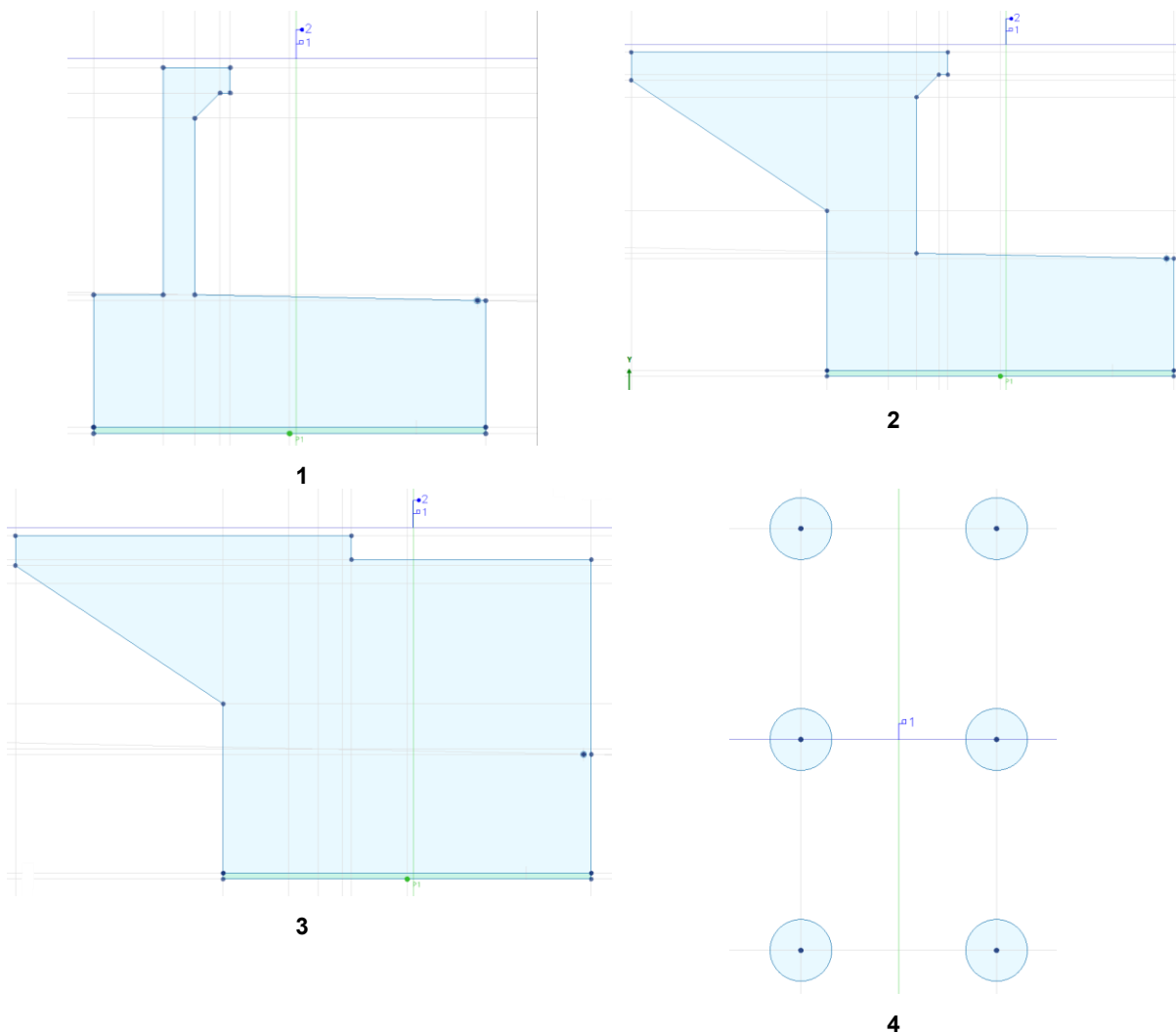


Figura 3-56 – Secções transversais dos encontros no *Allplan Bridge*

Dado que os encontros acompanham a inclinação do tabuleiro, a altura destes variam ao longo do desenvolvimento transversal da obra. Para representar essa variação, foi criada uma variável paramétrica (*Hauter*) nas secções 1, 2 e 3 (Figura 3-57), à qual foi posteriormente associado o respetivo gráfico de variação (Figura 3-58 e Figura 3-59).

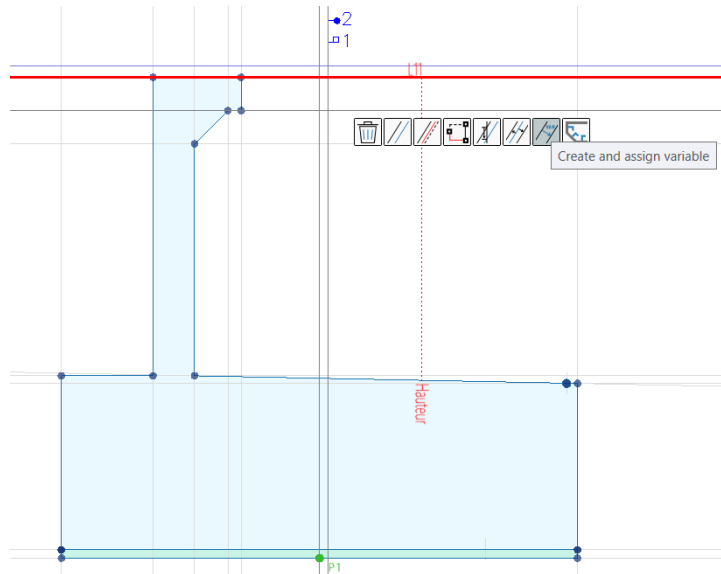


Figura 3-57 – Linha de controlo para definição da variação da altura dos encontros

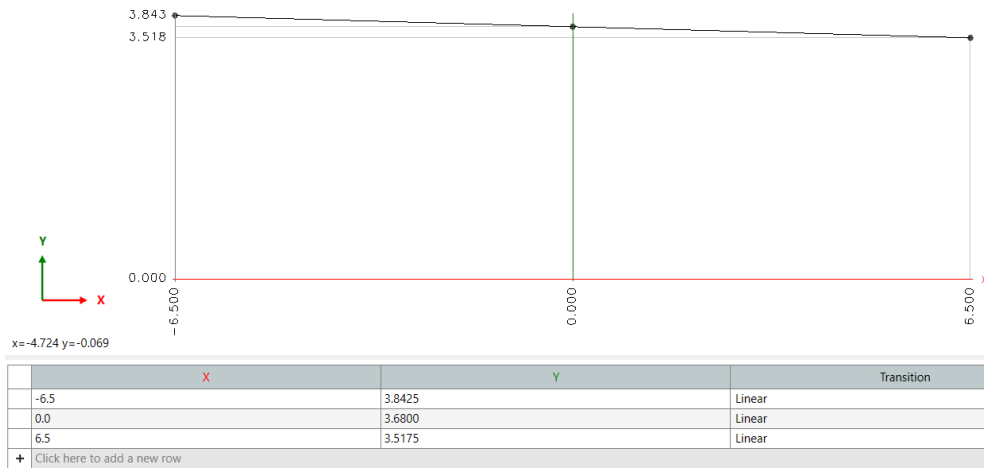


Figura 3-58 – Gráfico de variação da altura do encontro C0

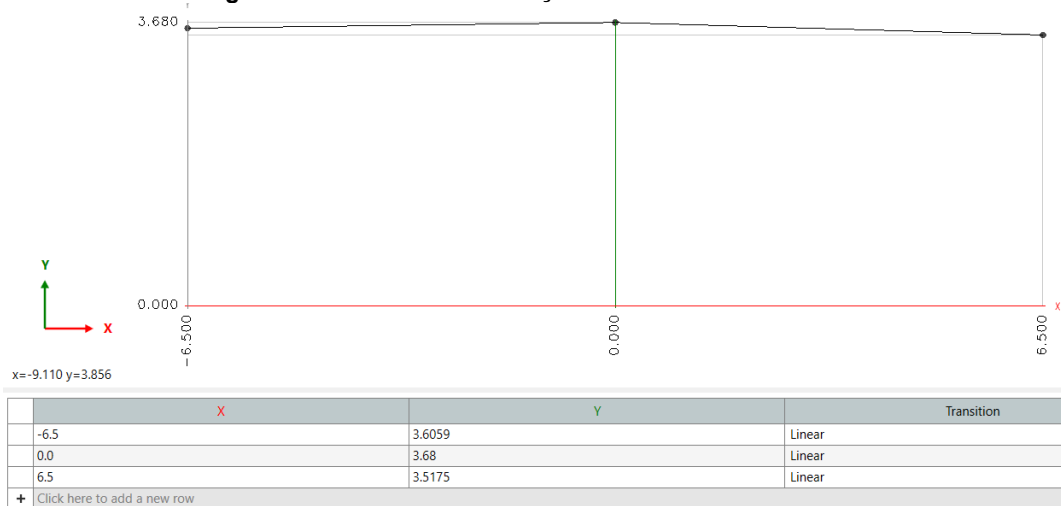


Figura 3-59 – Gráfico de variação da altura do encontro C16

3.2.3.3 Extrusão das Secções ao Longo do Eixo

No Allplan *Bridge*, a extrusão das secções ao longo do eixo constitui uma das etapas fundamentais da modelação paramétrica, permitindo a geração tridimensional precisa dos elementos estruturais previamente definidos.

A partir do eixo de referência e das secções associadas, o utilizador pode criar elementos como *girders* e *deck* (ambos permitem a extrusão das secções ao longo de eixos longitudinais ou transversais), *link girders* (utilizado para lançar elementos entre dois pontos, definindo o seu próprio alinhamento recto), *piers* (utilizado para fazer a extrusão na vertical, ou seja, perpendicular ao eixo da obra), *bodies* (volumes genéricos) e *structural connections* (ligações estruturais, utilizado para a parte de cálculo).

Cada um destes tipos de elementos possui características geométricas e comportamentais específicas, permitindo ao modelo BIM representar de forma precisa as diferentes partes da obra.

Esta metodologia de extrusão sequencial assegura a consistência entre as geometrias 2D e o modelo 3D final, otimizando o processo de conceção e atualização do projeto.

Tabuleiro pré-fabricado

A modelação do tabuleiro pré-fabricado foi desenvolvida por extrusão das secções transversais ao longo do eixo de referência (eixo da obra), recorrendo ao objeto *girder* do *Allplan Bridge*. Este processo permite representar a geometria tridimensional do tabuleiro de forma paramétrica, garantindo a variabilidade associada às sobrelevações e às larguras variáveis, bem como a coerência geométrica com o traçado.

Os dados necessários para a aplicação deste método incluem o eixo em planta e perfil (estações inicial e final), as secções transversais e os gráficos de variação correspondentes.

A metodologia baseia-se na criação de um elemento do tipo *Girder*, seguida da seleção do eixo e da secção transversal pretendida, da definição das estações inicial e final e, por fim, da configuração do espaçamento entre estações (*step*), conforme ilustrado na Figura 3-60.

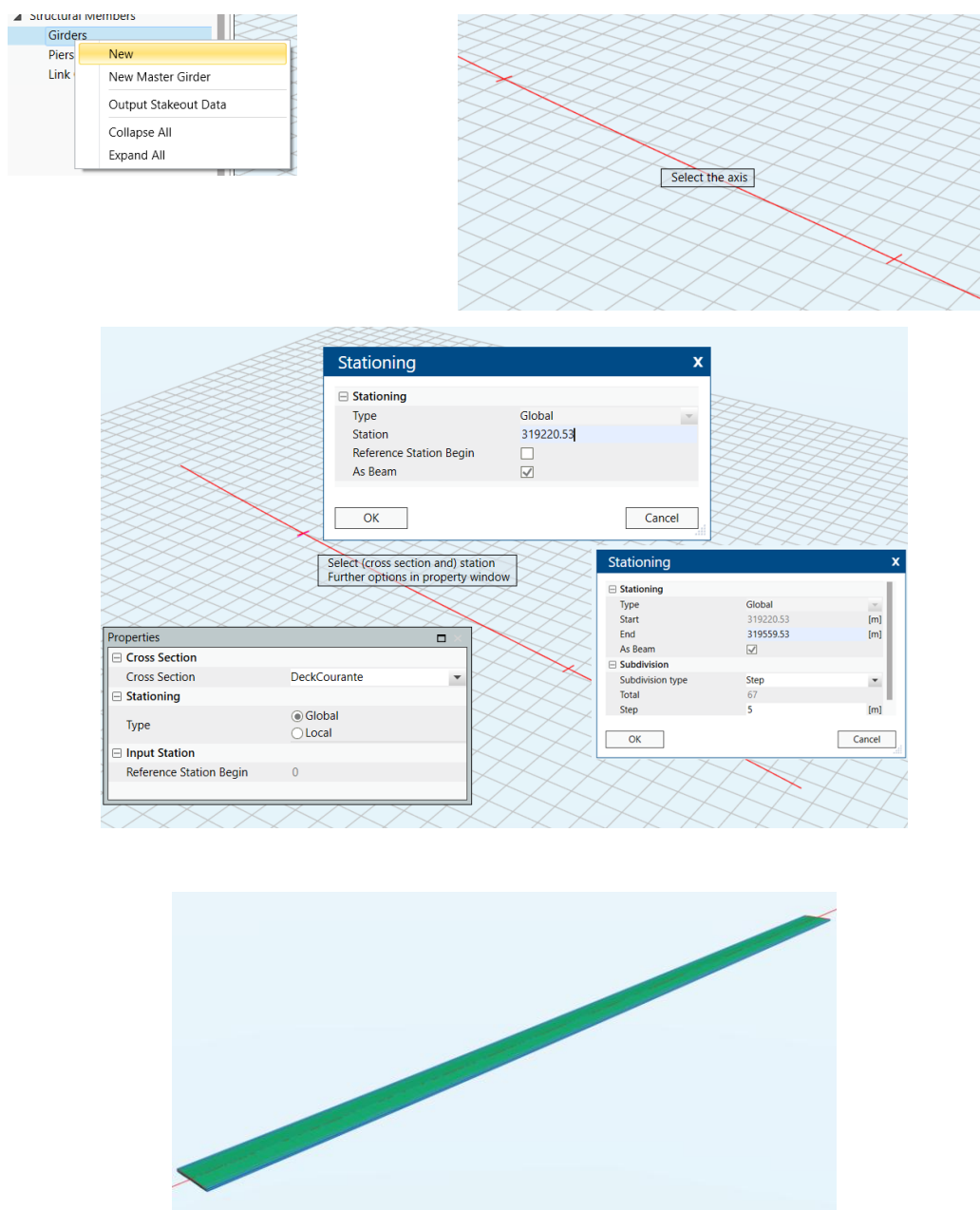


Figura 3-60 – Criação do modelo 3D do tabuleiro pré-fabricado no Allplan Bridge

O modelo Tridimensional do tabuleiro, é obtido a partir da edição das tabelas paramétricas, que permitem ajustar as estações, secções e variações geométricas, conforme apresentado na Tabela 3-1, Tabela 3-2 e Tabela 3-3.

Tabela 3-1 – Exemplo de tabela de estações para o tabuleiro pré-fabricado

Input Station [m]	Definition Type	Global Station [m]	Local Station [m]	Station diff. [m]	Thickness [mm]	As Beam	Allplan Engineer	
							Smooth	Skip
319219.530000	Global	319219.530000	-1.000000	0.000000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-0.400000	Local	319220.130000	-0.400000	0.600000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.000000	Local	319220.530000	0.000000	0.400000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
319220.930000	Global	319220.930000	0.400000	0.400000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.000000	Local	319225.530000	5.000000	4.600000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
319225.930000	Global	319225.930000	5.400000	0.400000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.000000	Local	319230.530000	10.000000	4.600000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
319235.430000	Global	319235.430000	14.900000	4.900000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.000000	Local	319235.530000	15.000000	0.100000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
319240.430000	Global	319240.430000	19.900000	4.900000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
319241.030000	Global	319241.030000	20.500000	0.600000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabela 3-2 – Aplicação de secções ao longo do desenvolvimento longitudinal da obra com tabuleiro pré-fabricado

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section
319219.530000	-1.000000	BACK	
		FRONT	DeckCouranteID
319220.130000	-0.400000	BACK	DeckCouranteID
		FRONT	DeckCouranteEntretoiseEST
319220.530000	0.000000	BACK	DeckCouranteEntretoiseEST
		FRONT	DeckCouranteEntretoiseEST
319220.930000	0.400000	BACK	DeckCouranteEntretoiseEST
		FRONT	DeckCourante
319225.530000	5.000000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante
319225.930000	5.400000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante
319230.530000	10.000000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante
319235.430000	14.900000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante
319235.530000	15.000000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante
319240.430000	19.900000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCouranteEntretoiseEST
319241.030000	20.500000	BACK	DeckCouranteEntretoiseEST
		FRONT	DeckCouranteEntretoiseEST
319241.630000	21.100000	BACK	DeckCouranteEntretoiseEST
		FRONT	DeckCourante
319245.530000	25.000000	BACK	DeckCourante
		FRONT	DeckCourante

Tabela 3-3 – Atribuição das sobrelevações ao tabuleiro pré-fabricado

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	DeversEST		DeversOUEST	
			Expression	Value	Expression	Value
319219.530000	-1.000000	BACK				
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319220.130000	-0.400000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319220.530000	0.000000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319220.930000	0.400000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319225.530000	5.000000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319225.930000	5.400000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319230.530000	10.000000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319235.430000	14.900000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319235.530000	15.000000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319240.430000	19.900000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319241.030000	20.500000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319241.630000	21.100000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
319245.530000	25.000000	BACK	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000
		FRONT	DeversEST(\$s)	2.50000	DeversOUEST(\$s)	2.50000

Para as vigas pré-fabricadas, o objetivo consiste na garantia da repetibilidade geométrica e construtiva, permitindo otimizar o processo produtivo e reduzir os custos associados ao fabrico e montagem. Neste contexto, as vigas são geralmente retas e idênticas entre si, uma vez que a produção em série de elementos curvos ou com geometrias variáveis implicaria complexidade acrescida na fabricação, controlo dimensional e transporte, tornando o processo economicamente mais dispendioso e tecnicamente mais exigente.

No *Allplan Bridge*, a modelação deste tipo de solução estrutural é realizada através do objeto *Link Girder*, que permite definir elementos lineares independentes do eixo principal, mas geometricamente associados a pontos de referência ao longo do tabuleiro. Esta ferramenta possibilita a criação de vigas retas entre duas estações específicas, mantendo a sua orientação constante, independentemente da curvatura do eixo global.

Para a aplicação desta metodologia, é necessário definir a secção transversal da viga (Figura 3-31), os pontos de referência na secção do tabuleiro (Figura 3-23, Figura 3-25, Figura 3-26 e Figura 3-27) e as estações inicial e final correspondentes ao comprimento útil da viga, atendendo a uma sobreposição de cerca de 20 cm nas carlingas.

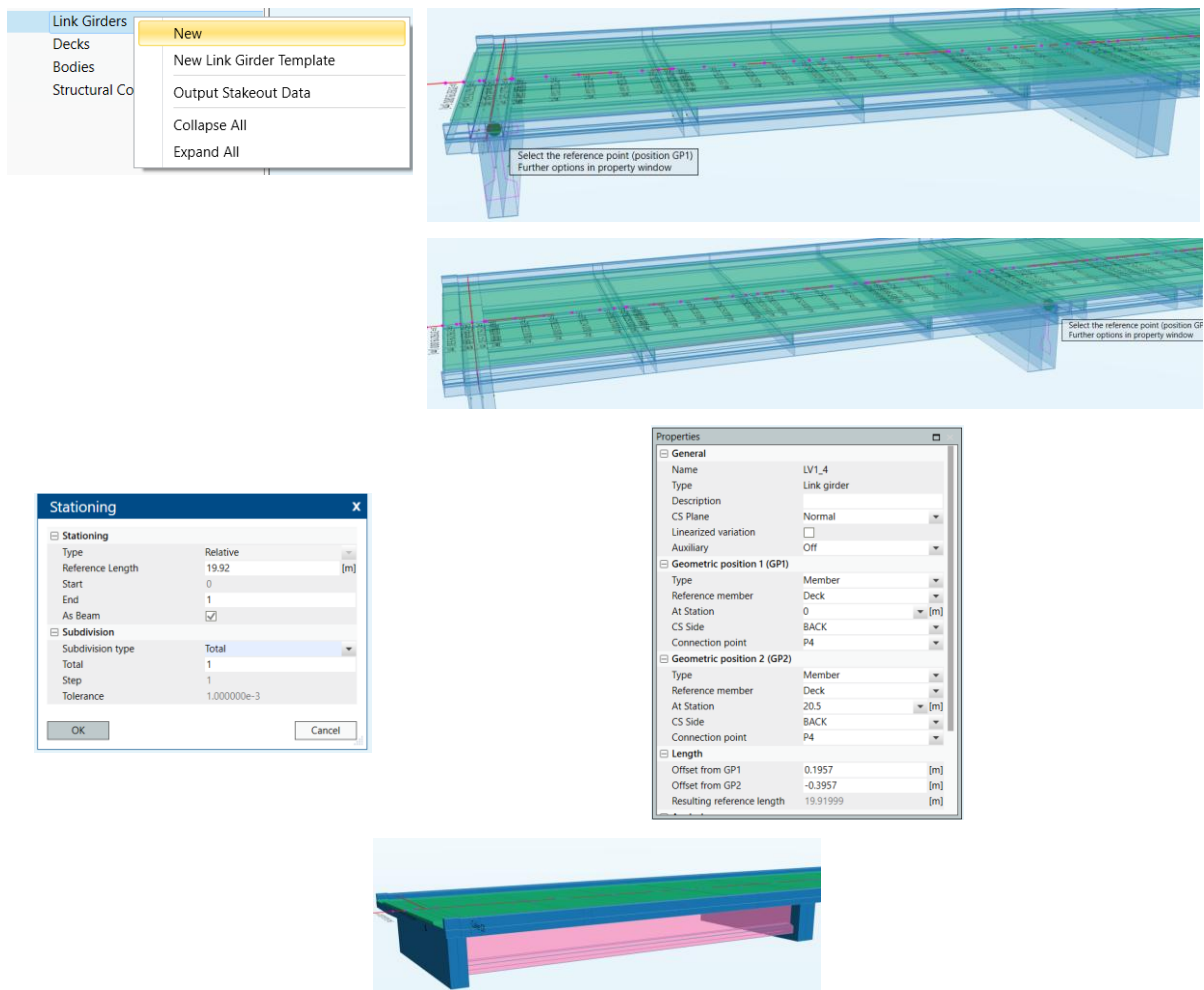


Figura 3-61 – Criação do modelo 3D das vigas pré-fabricadas no *Allplan Bridge*

Para obter a geometria final das vigas (Figura 3-62), procede-se à edição e adaptação das tabelas paramétricas associadas ao objeto *Link Girder*, onde são ajustadas as estações, as secções transversais e as variações geométricas correspondentes (Tabela 3-4, Tabela 3-5 e Tabela 3-6).

Tabela 3-4 – Tabela de estações definidas para as vigas pré-fabricadas no Allplan Bridge

Input Station [m]	Definition Type	Global Station [m]	Local Station [m]	Station diff. [m]	As Beam	Allplan Engineer	
						Smooth	Skip
0.000	Relative	0.000000	0.000000	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.200000	Local	3.200000	3.200000	3.200000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.200000	Local	4.200000	4.200000	1.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.720000	Local	15.720000	15.720000	11.520000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.720000	Local	16.720000	16.720000	1.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.000	Relative	19.919990	19.919990	3.199990	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
+ Click here to add a new row							

Tabela 3-5 – Associação das secções transversais a cada estação das vigas pré-fabricadas

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section
0.000000	0.000000	BACK	
		FRONT	Poutre courante
3.200000	3.200000	BACK	Poutre courante
		FRONT	Poutre courante
4.200000	4.200000	BACK	Poutre courante
		FRONT	Poutre courante
15.720000	15.720000	BACK	Poutre courante
		FRONT	Poutre courante
16.720000	16.720000	BACK	Poutre courante
		FRONT	Poutre courante
19.919990	19.919990	BACK	Poutre courante
		FRONT	

Tabela 3-6 – Atribuição das variações geométricas às vigas pré-fabricadas

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	larg_viga2 [m]		larg_viga1 [m]	
			Expression	Value	Expression	Value
0.000000	0.000000	BACK				
		FRONT	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
3.200000	3.200000	BACK	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
		FRONT	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
4.200000	4.200000	BACK	PA_larg_viga2(\$sl)	0.17500	PA_larg_viga1(\$sl)	0.27500
		FRONT	PA_larg_viga2(\$sl)	0.17500	PA_larg_viga1(\$sl)	0.27500
15.720000	15.720000	BACK	PA_larg_viga2(\$sl)	0.17500	PA_larg_viga1(\$sl)	0.27500
		FRONT	PA_larg_viga2(\$sl)	0.17500	PA_larg_viga1(\$sl)	0.27500
16.720000	16.720000	BACK	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
		FRONT	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
19.919990	19.919990	BACK	PA_larg_viga2(\$sl)	0.00000	PA_larg_viga1(\$sl)	0.00000
		FRONT				

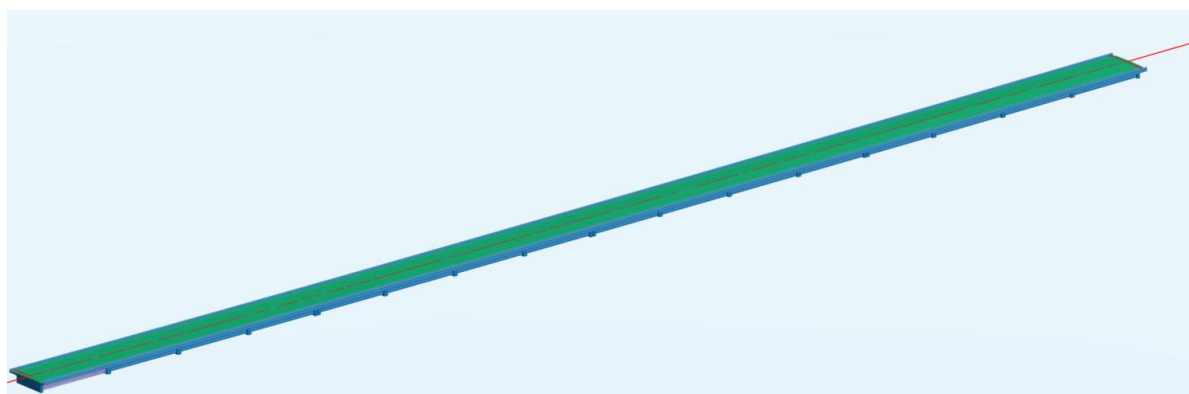


Figura 3-62 – Modelo 3D do tabuleiro com as vigas pré-fabricadas

Tabuleiro *in situ*

A modelação 3D do tabuleiro *in situ* foi realizada através da extrusão das secções transversais ao longo do eixo de referência, recorrendo ao objeto *deck* do *Allplan Bridge*. Esta opção partilha a mesma lógica paramétrica e metodologia do objeto *Girder*, permitindo gerar a geometria tridimensional do tabuleiro de forma precisa e totalmente associada às variações geométricas definidas (Figura 3-63).

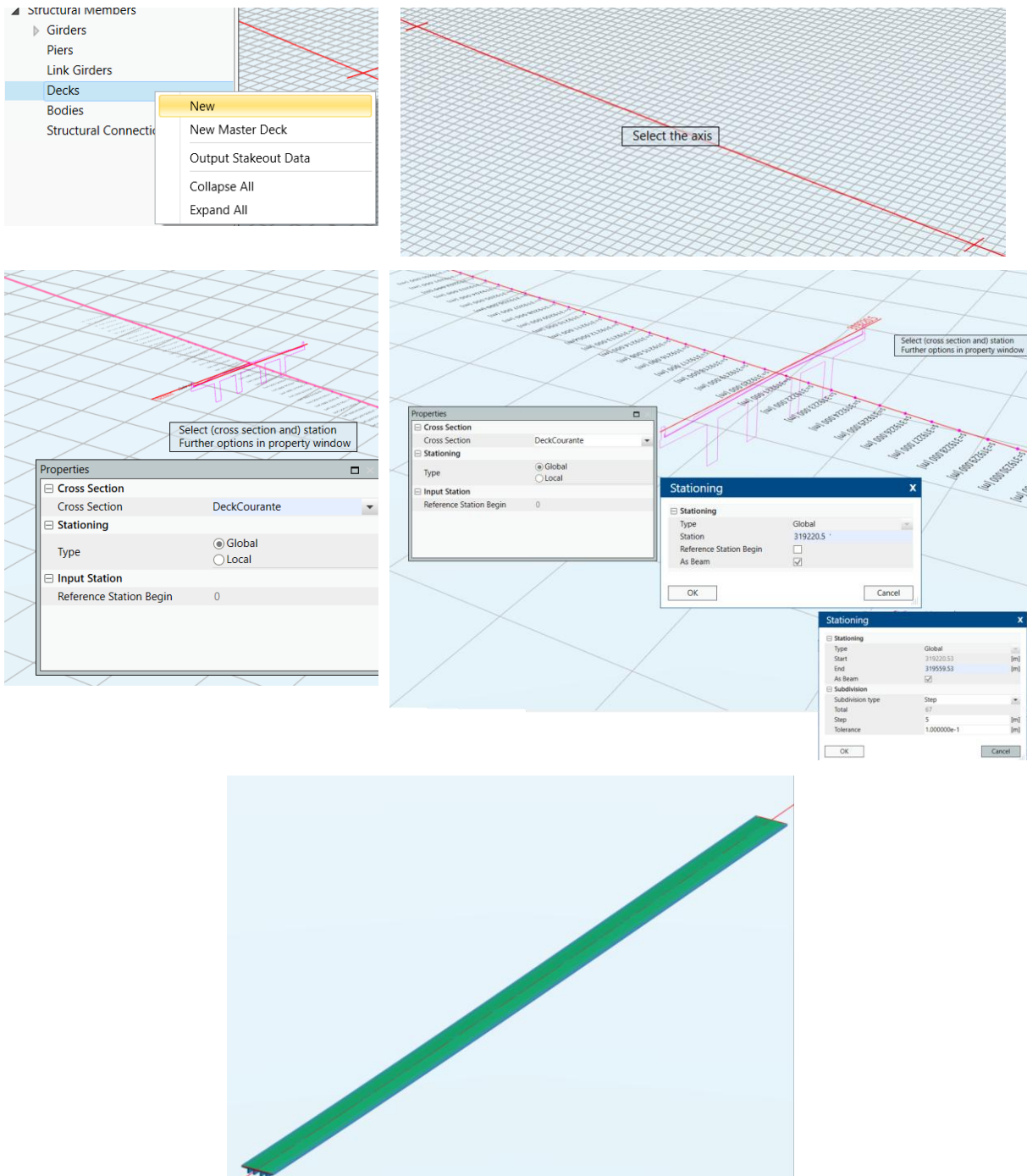


Figura 3-63 – Criação do modelo 3D do tabuleiro *in situ* no Allplan Bridge

Pilares

A modelação tridimensional dos pilares foi realizada através da opção *Piers*, mediante a criação de um pilar padrão (Figura 3-64), para posterior implantação na respetiva estação.

Para a aplicação desta metodologia, é essencial conhecer as secções transversais que compõem os pilares correntes (Figura 3-40 a Figura 3-43) e os pilares deltas (Figura 3-44 a Figura 3-47).

O pilar padrão é inicialmente definido com uma altura genérica, sendo esta ajustada individualmente para cada pilar através da edição das estações nas tabelas paramétricas correspondentes.

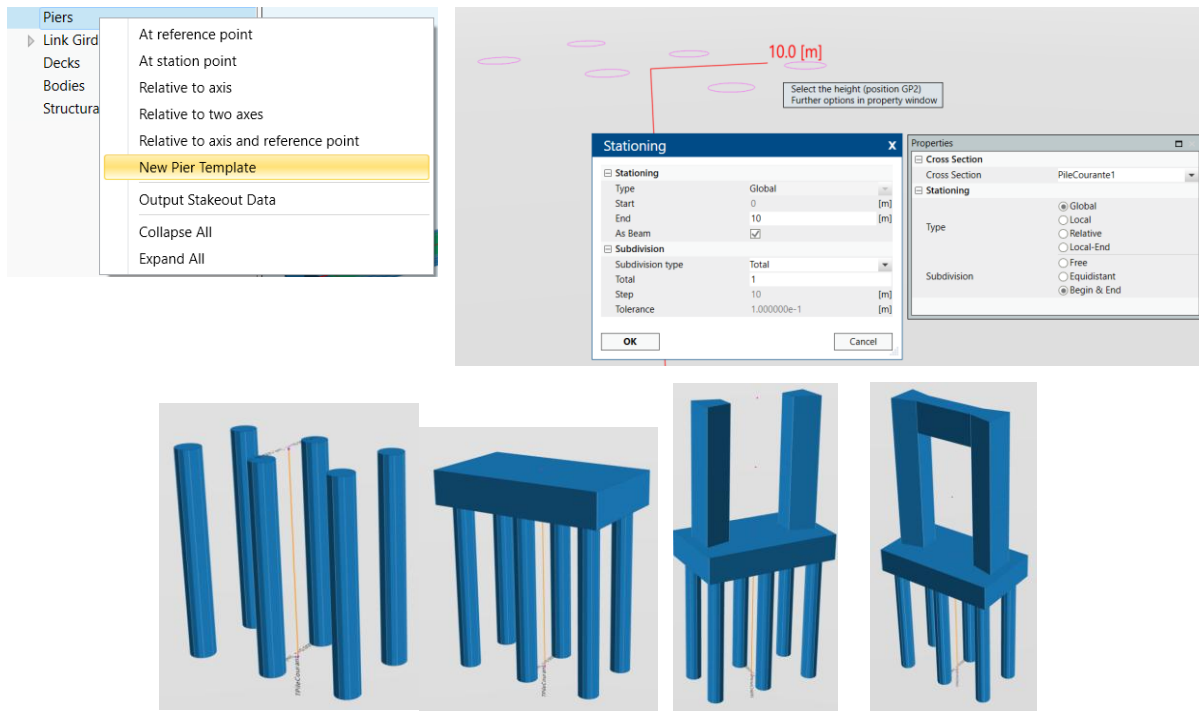


Figura 3-64 – Criação do pilar padrão

Nota: Para os pilares delta, aplica-se a mesma metodologia.

A alteração de estações, atribuição das secções e a aplicação das variações da travessa dos pilares (Figura 3-50), são realizadas através da edição das tabelas paramétricas correspondentes (Tabela 3-7, Tabela 3-8 e Tabela 3-9).

Tabela 3-7 – Tabela de estações para o pilar corrente padrão

Input Station [m]	Definition Type	Global Station [m]	Local Station [m]	Station diff. [m]	As Beam	Conveyed	Allplan Engineer	
							Smooth	Skip
-25.600000	Global	-25.600000	-25.600000	0.000000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-15.600000	Global	-15.600000	-15.600000	10.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-15.500000	Global	-15.500000	-15.500000	0.100000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-13.500000	Global	-13.500000	-13.500000	2.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-3.500000	Global	-3.500000	-3.500000	10.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-1.500000	Global	-1.500000	-1.500000	2.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-1.000000	Global	-1.000000	-1.000000	0.500000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.000000	Global	0.000000	0.000000	1.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

[Click here to add a new row](#)

Tabela 3-8 – Tabela de secções associada a cada estação do pilar corrente padrão

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section
-25.600000	-25.600000	BACK	
		FRONT	PileCourante1
-15.600000	-15.600000	BACK	PileCourante1
		FRONT	PileCourante2
-15.500000	-15.500000	BACK	PileCourante2
		FRONT	PileCourante2
-13.500000	-13.500000	BACK	PileCourante2
		FRONT	PileCourante3
-3.500000	-3.500000	BACK	PileCourante3
		FRONT	PileCourante4
-1.500000	-1.500000	BACK	PileCourante4
		FRONT	PileCourante4
-1.000000	-1.000000	BACK	PileCourante4
		FRONT	
0.000000	0.000000	BACK	
		FRONT	

Tabela 3-9 – Atribuição de variações ao pilar corrente padrão

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Largueur [m]	
			Expression	Value
-25.600000	-25.600000	BACK		
		FRONT		
-15.600000	-15.600000	BACK		
		FRONT		
-15.500000	-15.500000	BACK		
		FRONT		
-13.500000	-13.500000	BACK		
		FRONT		
-3.500000	-3.500000	BACK		
		FRONT	PileCouranteLargueur(\$s)	2.50000
-1.500000	-1.500000	BACK	PileCouranteLargueur(\$s)	4.50000
		FRONT	PileCouranteLargueur(\$s)	4.50000
-1.000000	-1.000000	BACK	PileCouranteLargueur(\$s)	4.50000
		FRONT		
0.000000	0.000000	BACK		
		FRONT		

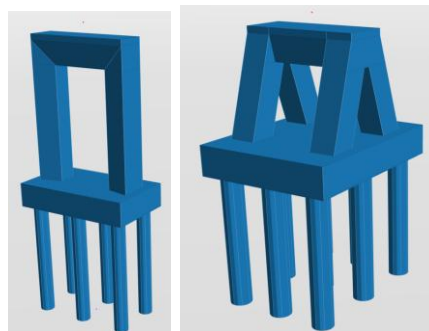


Figura 3-65 – Pilar padrão corrente e delta, respetivamente

Após a definição dos modelos padrão (Figura 3-65), os pilares foram inseridos no modelo 3D do viaduto através da opção *New Pier From Template* (Figura 3-66), considerando o ponto de referência previamente definido na secção da carlinga (P5 ou P1), consoante se trate da solução com tabuleiro pré-fabricado (Figura 3-26 e Figura 3-27) ou *in situ* (Figura 3-38 e Figura 3-39).

O resultado deste processo é apresentado na (Figura 3-67), que mostra o modelo 3D completo do tabuleiro com os pilares integrados ao longo do eixo estrutural.

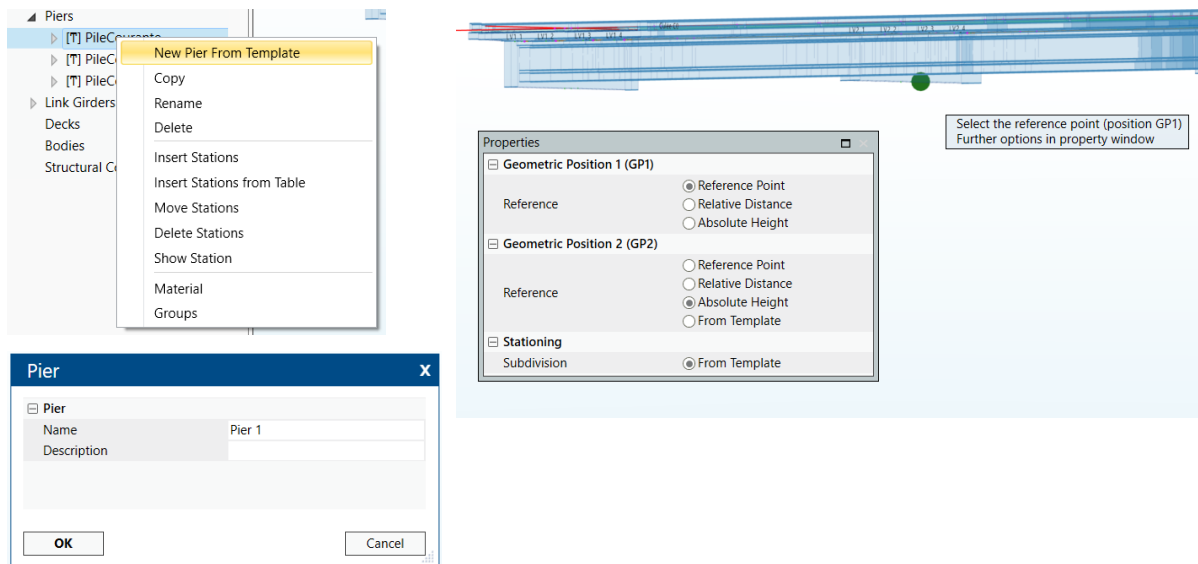


Figura 3-66 – Inserção dos pilares no modelo 3D do viaduto através da função *New Pier From Template*

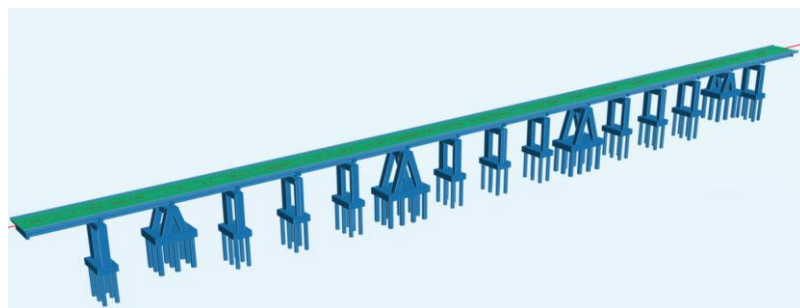


Figura 3-67 – Modelo 3D do tabuleiro com os pilares

Encontros

A modelação dos encontros foi desenvolvida recorrendo a duas ferramentas: o *Girder*, utilizado para a definição do corpo do encontro, e o *Pier*, destinado à representação das estacas.

Ao contrário do tabuleiro pré-fabricado, cuja extrusão ocorre ao longo do eixo longitudinal, os encontros desenvolvem-se na direção transversal, exigindo a criação de eixos transversais nas estações correspondentes para permitir a extrusão das secções previamente definidas (Figura 3-56, 1,2 e 3).

A metodologia consistiu na criação de eixos transversais na posição dos encontros, com comprimento correspondente à largura total do elemento (13,0 m), procedendo

posteriormente à extrusão das secções transversais através da ferramenta *Girder*, conforme ilustrado na Figura 3-68. Tal como nos restantes elementos, os parâmetros geométricos foram ajustados nas tabelas paramétricas do software (Tabela 3-10, Tabela 3-11 e Tabela 3-12).

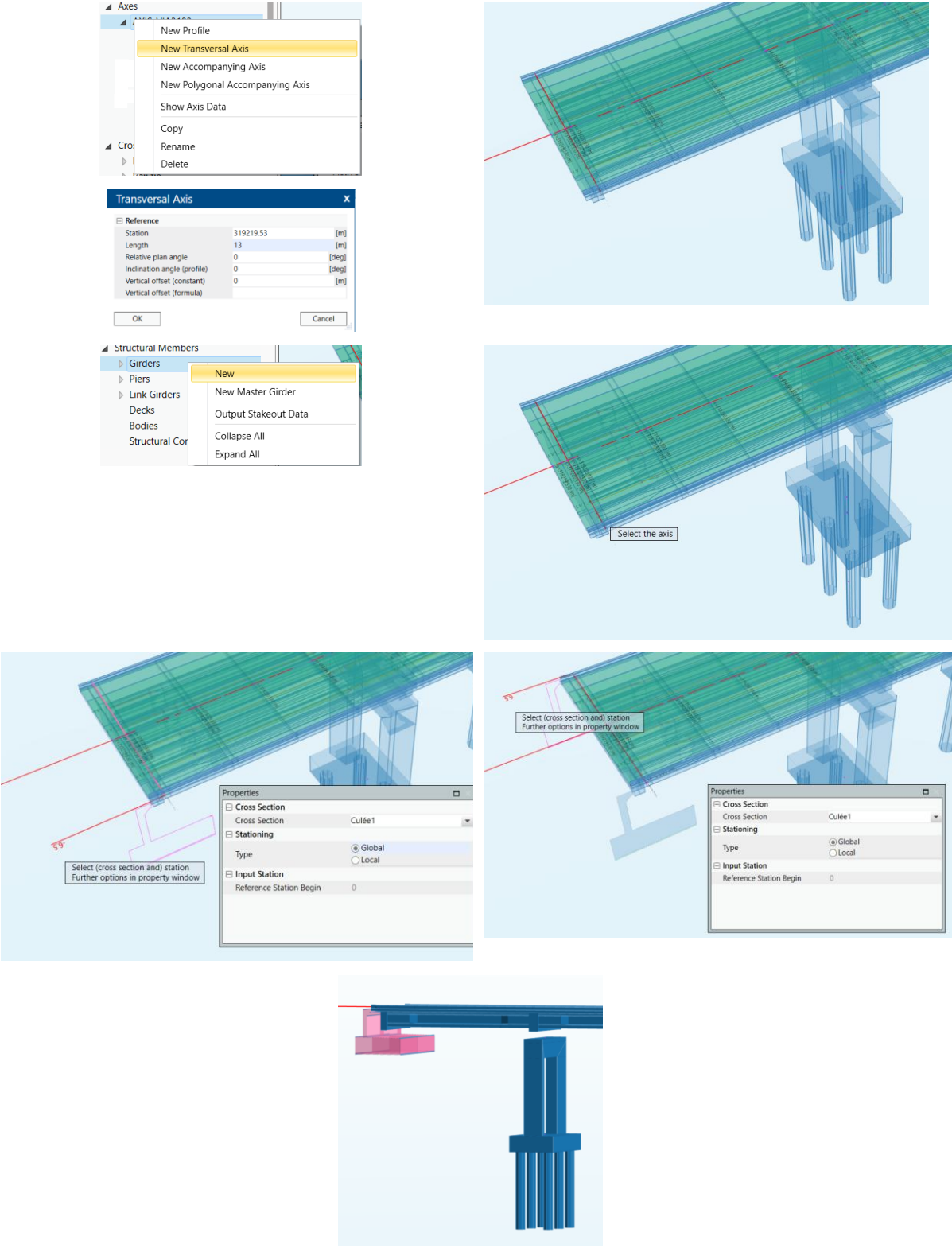


Figura 3-68 – Criação do modelo 3D do encontro

Tabela 3-10 – Tabela de estações para os encontros

Input Station [m]	Definition Type	Global Station [m]	Local Station [m]	Station diff. [m]	Thickness [mm]	As Beam	Allplan Engineer	
							Smooth	Skip
-6.500000	Global	-6.500000	0.000000	0.000000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-6.250000	Global	-6.250000	0.250000	0.250000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-6.000000	Global	-6.000000	0.500000	0.250000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.000000	Global	0.000000	6.500000	6.000000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.000000	Global	6.000000	12.500000	6.000000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.250000	Global	6.250000	12.750000	0.250000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.500000	Global	6.500000	13.000000	0.250000	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabela 3-11 – Tabelas de secções transversais dos encontros

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section
-6.500000	0.000000	BACK	
		FRONT	Culée3
-6.250000	0.250000	BACK	Culée3
		FRONT	Culée2
-6.000000	0.500000	BACK	Culée2
		FRONT	Culée1
0.000000	6.500000	BACK	Culée1
		FRONT	Culée1
6.000000	12.500000	BACK	Culée1
		FRONT	Culée2
6.250000	12.750000	BACK	Culée2
		FRONT	Culée3
6.500000	13.000000	BACK	Culée3
		FRONT	

Tabela 3-12 – Atribuição da variação para a altura do encontro

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Hauteur [m]	
			Expression	Value
-6.500000	0.000000	BACK		
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.84250
-6.250000	0.250000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.83625
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.83625
-6.000000	0.500000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.83000
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.83000
0.000000	6.500000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.68000
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.68000
6.000000	12.500000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.53000
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.53000
6.250000	12.750000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.52375
		FRONT	CuleeC0Inc(\$s)	3.52375
6.500000	13.000000	BACK	CuleeC0Inc(\$s)	3.51750
		FRONT		

As estacas dos encontros foram modeladas através do objeto *Pier* (Figura 3-69), permitindo a extrusão vertical da secção de referência (Figura 3-56, 4). As estacas foram posicionadas conforme o plano de fundações, tendo em consideração o ponto de referência P1 e garantindo a continuidade geométrica entre o maciço de encabeçamento e o terreno de fundação.

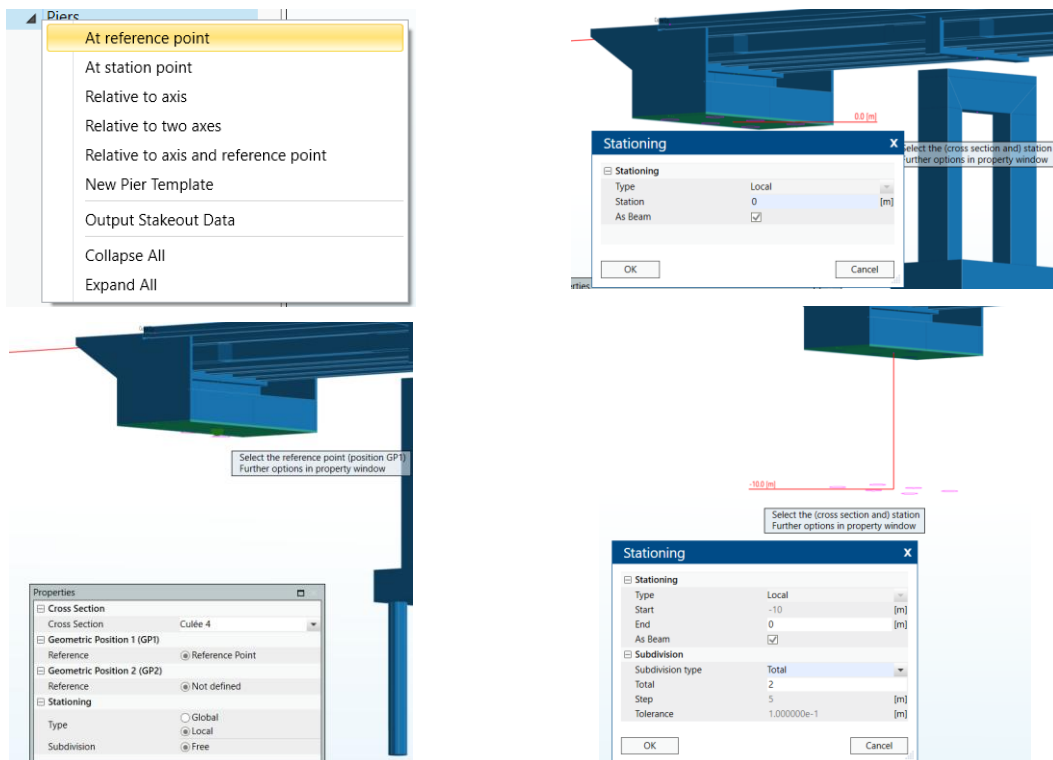


Figura 3-69 – Criação das estacas dos encontros

O resultado do processo de modelação dos encontros é apresentado na Figura 3-70.

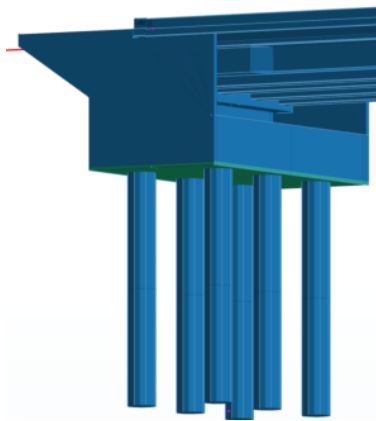


Figura 3-70 – Modelação 3D das estacas dos encontros

A Figura 3-71 apresenta o modelo tridimensional final do viaduto, representando o culminar do processo de modelação paramétrica desenvolvido no *Allplan Bridge*. Nesta fase, todos os elementos estruturais: tabuleiro, vigas, pilares, encontros, maciços e estacas encontram-se integrados num modelo digital único e coerente, evidenciando o rigor geométrico e a coordenação estrutural da solução BIM.

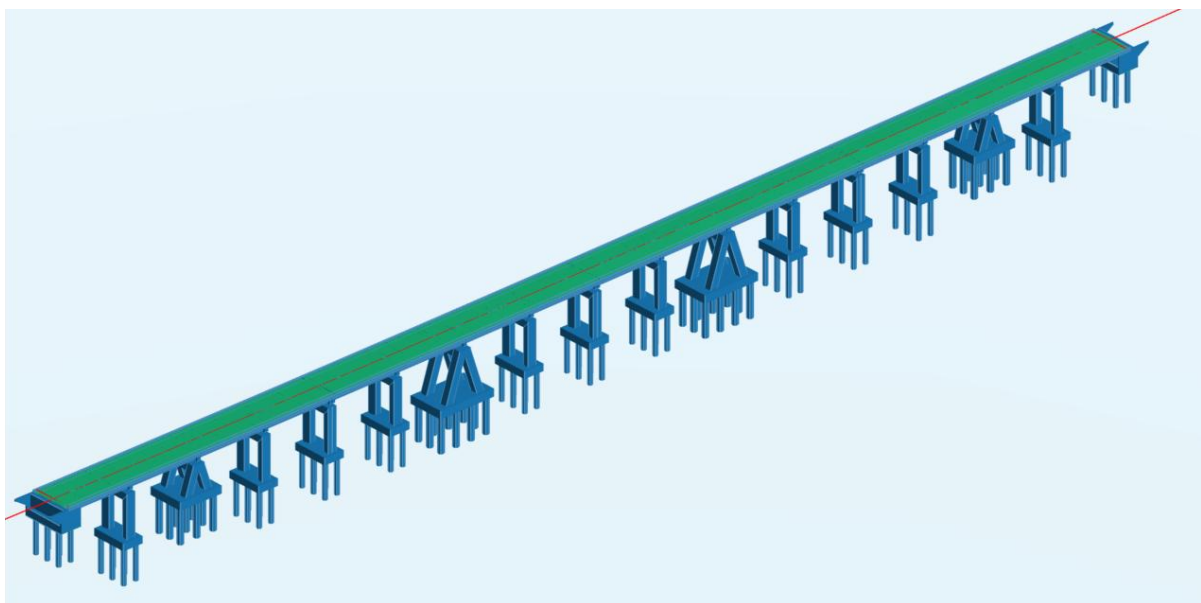


Figura 3-71 – Modelo 3D do viaduto

3.2.4 Principais Desafios

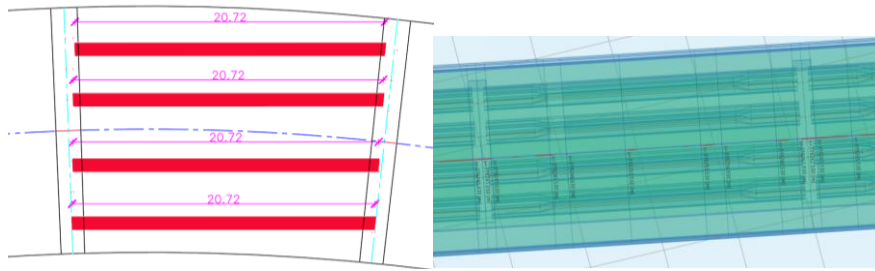
A modelação paramétrica de pontes e viadutos em ambiente BIM afirma-se como uma ferramenta essencial para a conceção, análise e gestão de obras de arte especiais. Contudo, a sua utilização prática, sobretudo em estruturas com eixos curvos e geometrias complexas, evidencia um conjunto de desafios técnicos e operacionais que condicionam a eficiência e a automatização do processo de modelação. Estes desafios tornam-se particularmente relevantes em soluções com vigas pré-fabricadas, onde a regularidade dimensional e o

controlo geométrico exigem uma abordagem individualizada, sobretudo quando aplicadas sobre eixos curvos.

Os principais desafios identificados durante a modelação paramétrica do viaduto em estudo são os seguintes:

- **Secções transversais complexas:** a definição de secções com elevado detalhe geométrico (lajes, vigas longitudinais, passeios, travessas, etc), requer a criação de múltiplas linhas e pontos de referência para compor o *boundary* da secção. À medida que o número de entidades aumenta, o processo torna-se mais moroso e suscetível a erros, nomeadamente pela sobreposição de segmentos e pela dificuldade em garantir a correta associação entre referências e variações geométricas ao longo do eixo.
- **Variações geométricas:** a parametrização de múltiplas variações ao longo do eixo implica um controlo rigoroso dos pontos de referência e das respetivas dependências. Em modelos complexos, este processo é sensível a inconsistências geométricas, exigindo uma verificação cuidada para assegurar a continuidade e coerência global do modelo tridimensional.
- **Vigas pré-fabricas em obra com eixo curvo:** o perfil retilíneo das vigas pré-fabricadas faz com que a sua geometria não depende diretamente do eixo da obra, sendo a sua posição final determinada pela infraestrutura de suporte. Dada a necessidade de padronização dimensional inerente à pré-fabricação, foram adotados dois comprimentos de viga: $L = 19,92$ m para vigas de extremidade e $L = 20,72$ m para vigas interiores. Todavia, devido à curvatura do eixo em planta, a manutenção destes comprimentos constantes exigiu o cálculo individualizado do *offset* de cada viga relativamente ao eixo da carlinga, garantindo o correto posicionamento e um encastramento uniforme de aproximadamente 20 cm.

A Figura 3-72 ilustra este processo, apresentando as vigas do segundo vão do viaduto, nas quais se observam os diferentes *offsets* aplicados para assegurar a uniformidade dimensional em traçado curvo.



Properties	Properties
<p>General</p> <p>Name: LV2_1 Type: Link girder Description: CS Plane: Normal Linearized variation: <input type="checkbox"/> Auxiliary: Off</p> <p>Geometric position 1 (GP1)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 20.5 [m] CS Side: BACK Connection point: P1</p> <p>Geometric position 2 (GP2)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 42 [m] CS Side: BACK Connection point: P1</p> <p>Length</p> <p>Offset from GP1: 0.3841 [m] Offset from GP2: -0.3841 [m] Resulting reference length: 20.72003 [m]</p>	<p>General</p> <p>Name: LV2_2 Type: Link girder Description: CS Plane: Normal Linearized variation: <input type="checkbox"/> Auxiliary: Off</p> <p>Geometric position 1 (GP1)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 20.5 [m] CS Side: BACK Connection point: P2</p> <p>Geometric position 2 (GP2)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 42 [m] CS Side: BACK Connection point: P2</p> <p>Length</p> <p>Offset from GP1: 0.3878 [m] Offset from GP2: -0.3878 [m] Resulting reference length: 20.72006 [m]</p>
<p>General</p> <p>Name: LV2_3 Type: Link girder Description: CS Plane: Normal Linearized variation: <input type="checkbox"/> Auxiliary: Off</p> <p>Geometric position 1 (GP1)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 20.5 [m] CS Side: BACK Connection point: P3</p> <p>Geometric position 2 (GP2)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 42 [m] CS Side: BACK Connection point: P3</p> <p>Length</p> <p>Offset from GP1: 0.3923 [m] Offset from GP2: -0.3923 [m] Resulting reference length: 20.71991 [m]</p>	<p>General</p> <p>Name: LV2_4 Type: Link girder Description: CS Plane: Normal Linearized variation: <input type="checkbox"/> Auxiliary: Off</p> <p>Geometric position 1 (GP1)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 20.5 [m] CS Side: BACK Connection point: P4</p> <p>Geometric position 2 (GP2)</p> <p>Type: Member Reference member: Deck At Station: 42 [m] CS Side: BACK Connection point: P4</p> <p>Length</p> <p>Offset from GP1: 0.396 [m] Offset from GP2: -0.396 [m] Resulting reference length: 20.71994 [m]</p>

Figura 3-72 – Definição dos *offsets* das vigas pré-fabricadas

3.3 Produção de Desenhos

Concluída a modelação paramétrica no *Allplan Bridge*, procedeu-se à integração do modelo no *Allplan Engineering*, com o objetivo de gerar a documentação técnica associada nomeadamente plantas e cortes. Esta fase representa a transição entre o modelo paramétrico conceptual e o modelo construtivo detalhado, permitindo validar a geometria, a coerência dimensional e a correspondência entre o modelo 3D e os elementos de projeto.

A importação do modelo realiza-se diretamente através da função *Import Allplan Bridge Data*, que converte o modelo paramétrico desenvolvido no *Bridge* em elementos 3D reconhecidos e editáveis no *Allplan Engineering*.

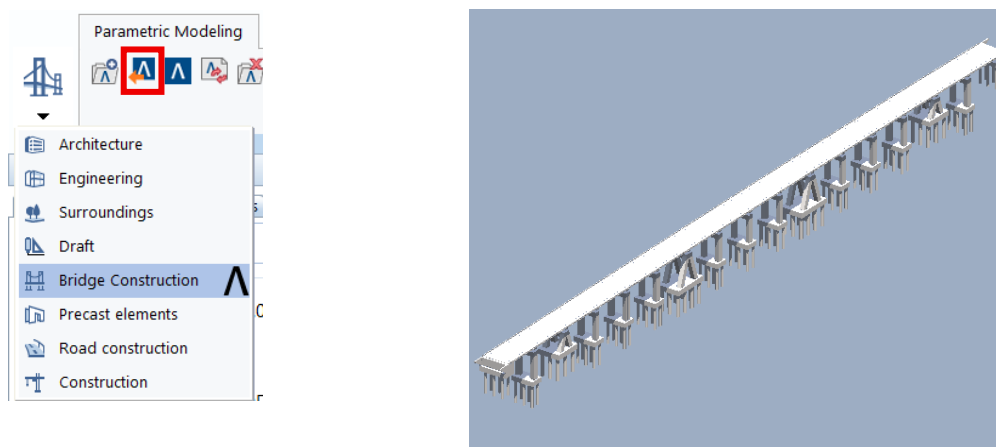


Figura 3-73 – Importação do modelo do *Allplan Bridge* para o *Allplan Engineering*

No *Allplan Engineering*, o modelo importado do *Allplan Bridge* é organizado em *drawing files* reservados especificamente para o modelo Bridge. Por forma a facilitar a gestão dos elementos e a preparação da documentação gráfica, os elementos que constituem o modelo (tabuleiro, pilares, encontros, etc), são copiados e organizados em *drawing files* distintos, porém georreferenciados.

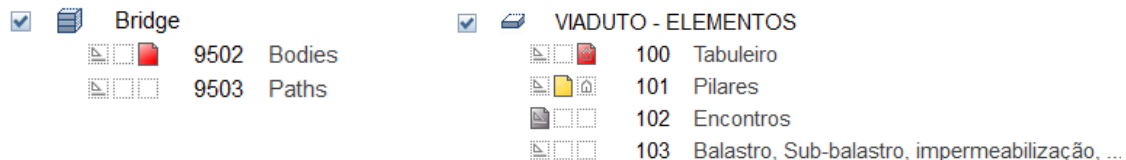


Figura 3-74 – Organização dos *drawing files* no *Allplan Engineering*

A gestão dos *drawing files* é efetuada através dos estados de visualização, que controlam a exibição dos elementos no ambiente gráfico, permitindo alternar entre os modos *ativo* (vermelho), *visível* (amarelo) e *oculto* (cinzento). Esta funcionalidade é essencial para a modelação e produção de desenhos, pois possibilita o trabalho seletivo sobre elementos específicos, mantendo a coerência geométrica global do modelo.

O modo ativo identifica o ficheiro em edição; o modo visível permite a visualização e interação com o ficheiro; e o modo oculto mantém os elementos como referência, sem possibilidade de edição (Allplan GmbH, 2022).

A metodologia de produção dos desenhos baseia-se na criação de vistas e anotações (cotas, textos e detalhes) em *drawing files* distintos, de modo a assegurar diferentes escalas e níveis de detalhe para cada conjunto de desenhos.

A partir do modelo 3D importado, a geração automática de plantas e cortes é realizada através das ferramentas *Views and Sections*, que criam representações bidimensionais

diretamente associadas à geometria do modelo paramétrico. Estas vistas mantêm uma ligação dinâmica com o modelo 3D, sendo automaticamente atualizadas sempre que ocorrem alterações geométricas.

Na Figura 3-75 apresentam-se os passos para preparação dos desenhos das secções transversais. Este procedimento é igual para os restantes desenhos de dimensionamento de qualquer elemento do viaduto.

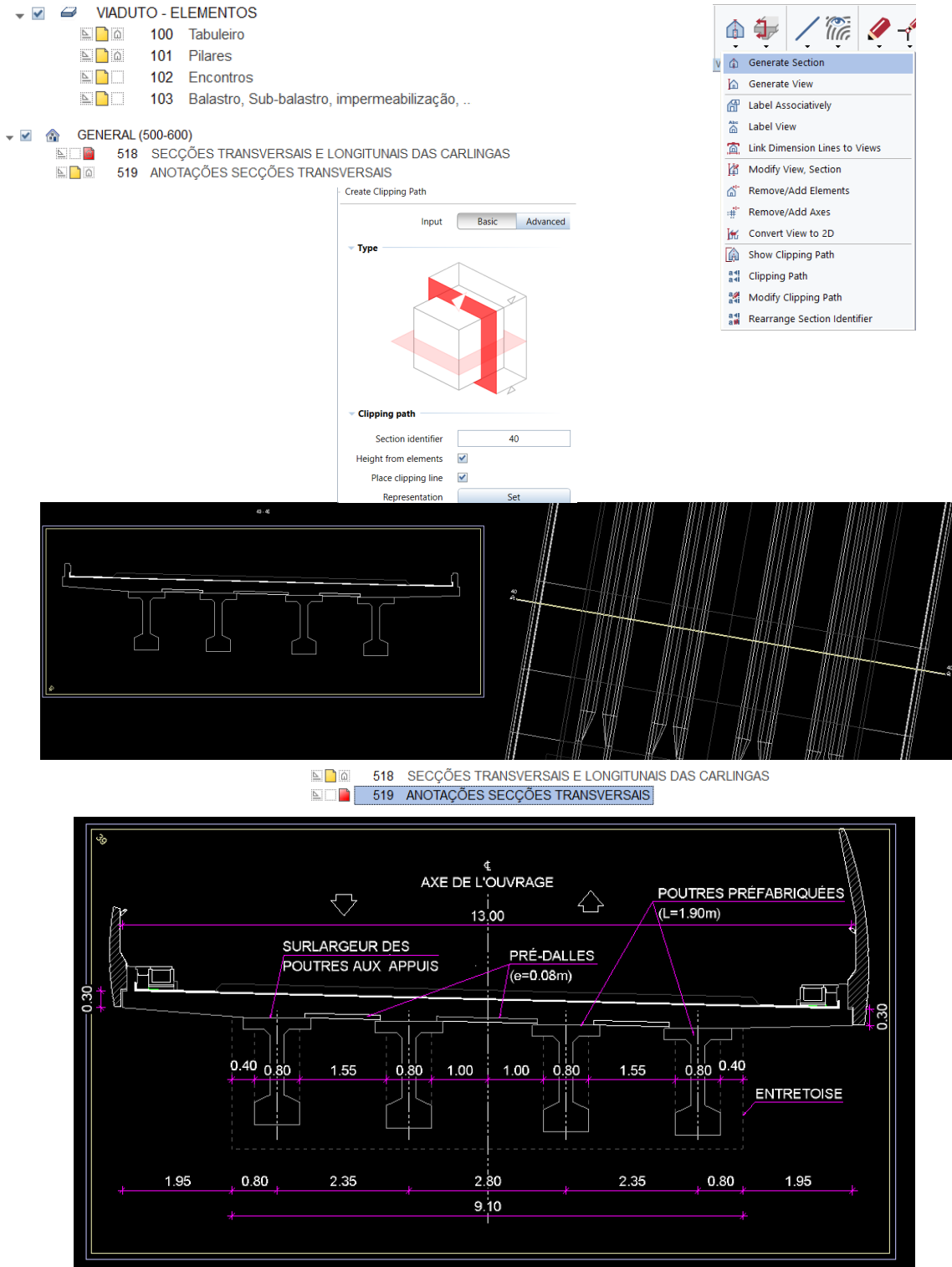


Figura 3-75 – Exemplo de preparação de desenho para layout

Após a preparação dos desenhos, o próximo passo é a montagem da folha, ou seja, do *layout* (Figura 3-76). Este constitui um processo simples feito a partir da função layout editor tal como demonstrado abaixo:

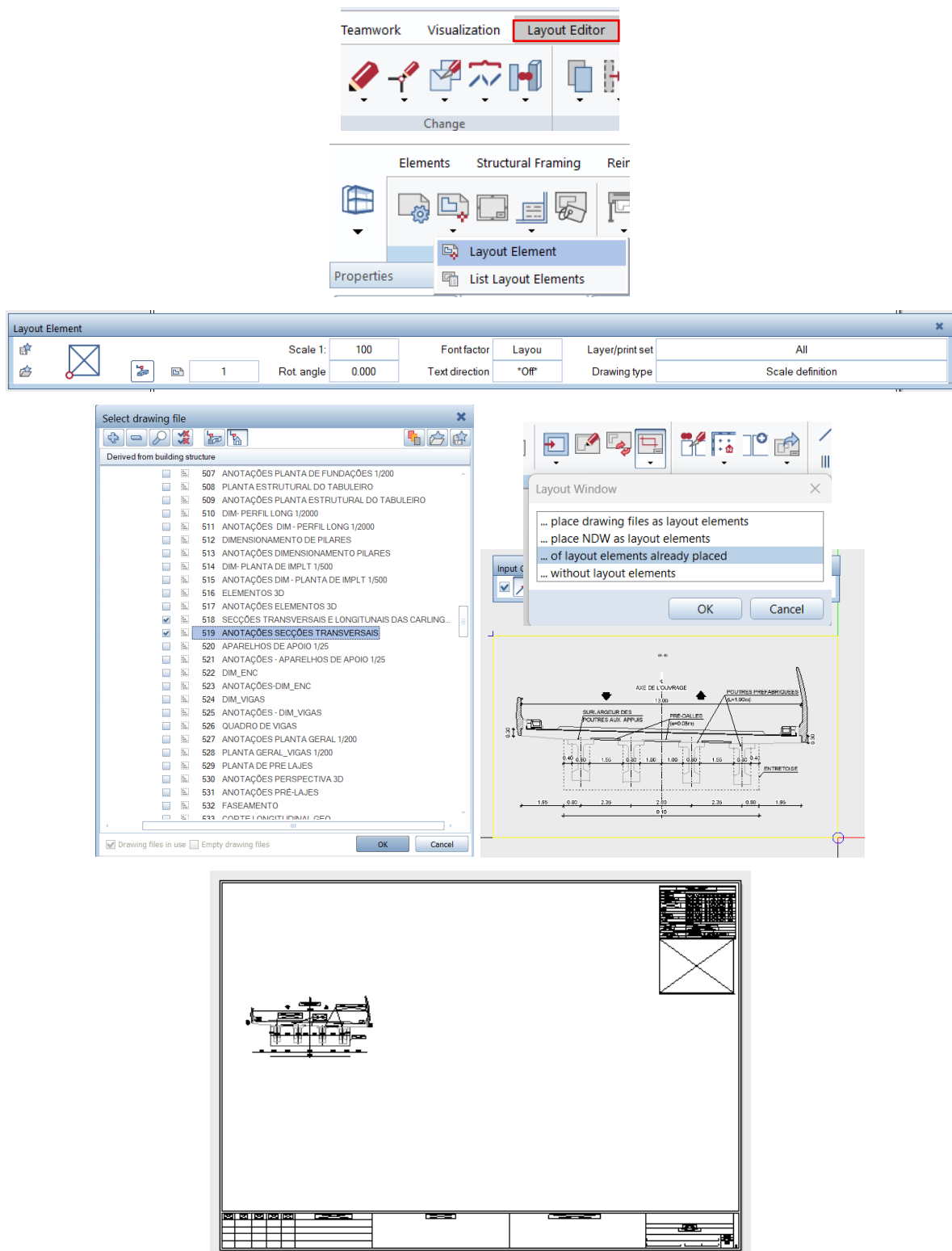


Figura 3-76 – Montagem de desenhos

O resultado desta fase consistiu num conjunto completo de desenhos técnicos que podem ser observados com mais detalhe no Anexo II.

4 CASO DE ESTUDO 2 – MODELAÇÃO DE ARMADURAS DE UM PILAR

4.1 Considerações Gerais

Este capítulo tem como objetivo apresentar o processo de dimensionamento estrutural e modelação tridimensional das armaduras de um dos pilares de um viaduto ferroviário inserido no âmbito da extensão de uma linha de Alta Velocidade. Este viaduto permite a transposição de uma autoestrada, integrando-se numa zona de intersecção complexa entre infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, tal como ilustra a Figura 4-1.



Figura 4-1 – Localização da Via-férrea e Autoestrada em imagem de satélite

O Viaduto é uma estrutura mista em aço e betão (Figura 4-4), composta por um tabuleiro principal metálico do tipo treliçado (*Warren*) com 141,40 m de vão, um tabuleiro em betão armado com 16,50 m de vão e um encontro de tipo “U” com 27,40 m de comprimento. No seu conjunto, a estrutura totaliza 186,40 m de extensão, conforme ilustrado na Figura 4-2 e Figura 4-3.

O conjunto estrutural é suportado por vários apoios: um pilar encontro (C02), um pilar de betão armado (PC1) e um encontro (C00) cada um com características geométricas e estruturais distintas.

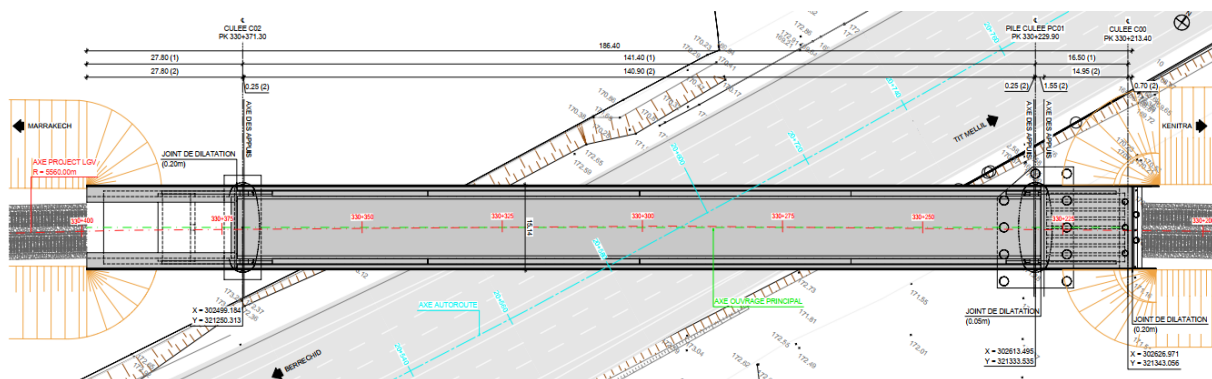


Figura 4-2 – Planta esquemática da ferrovia

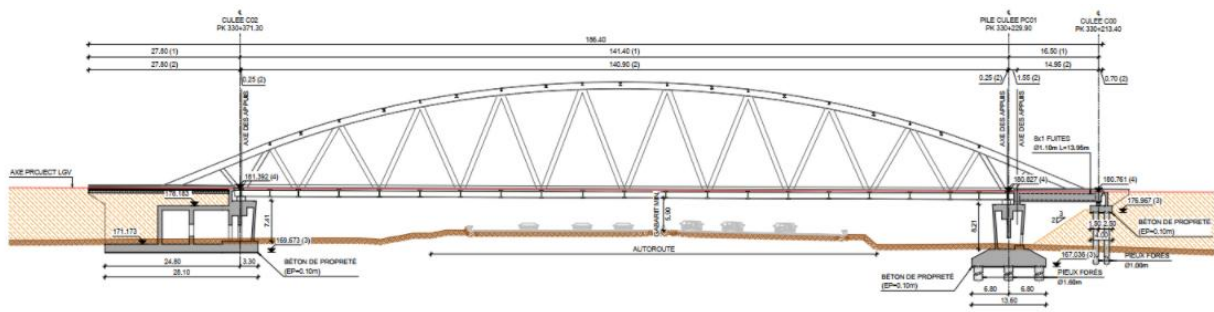


Figura 4-3 – Alçado esquemático da ferrovia

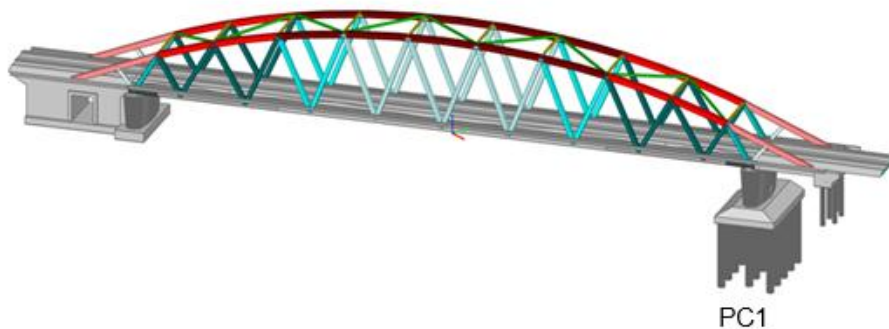


Figura 4-4 – Modelo 3D da obra

Neste capítulo, o foco recai sobre o dimensionamento e modelação das armaduras do Pilar PC1, elemento em betão armado com geometria troncocónica oca, fundado sobre estacas moldadas *in situ* e que assume simultaneamente funções de apoio ao tabuleiro principal e de travamento estrutural. O Pilar PC1 apresenta particular interesse técnico pela sua complexidade geométrica, pela transferência de esforços verticais significativos e pela sua integração no comportamento global da estrutura.

O trabalho a desenvolver consiste, assim, no dimensionamento das armaduras longitudinais e transversais do Pilar PC1, com base nas solicitações obtidas através da modelação estrutural global e segundo os critérios estabelecidos pelos Eurocódigos e pelas especificações do projeto. Posteriormente, será realizada a modelação paramétrica das armaduras no ambiente BIM, utilizando o *software Allplan*, com o objetivo de integrar a componente geométrica (a forma real da armadura: varões, estribos, curvatura), quantitativa (quantidade total de aço, número de varões, diâmetros, pesos, comprimentos) e informacional (dados técnicos como tipo de aço, códigos de barra para fabrico, entre outros) da armadura no modelo digital da estrutura.

A escolha deste pilar para análise justifica-se pela sua relevância estrutural no sistema resistente do viaduto, pelas suas características geométricas singulares, e pela oportunidade que oferece para demonstrar a aplicação integrada das metodologias clássicas de

dimensionamento estrutural com ferramentas de modelação digital orientadas por metodologia BIM.

4.2 Regulamentos

Em conformidade com as prescrições do Caderno de Encargos, na definição das ações, critérios de dimensionamento estrutural e materiais envolvidos no projeto das Obras de Arte Especiais, serão respeitadas as disposições dos regulamentos e normas aplicáveis em vigor, nomeadamente:

a) Regulamentação Nacional

Na ausência de disposições específicas na regulamentação europeia:

- RPS 2000: Regulamento de Construção Para sísmica.

b) Normas europeias – Eurocódigos Estruturais (principais diretrizes)

- EN 1990 – Eurocódigo 0 – Bases para o projeto das estruturas;
- EN 1990 – Eurocódigo 0 – Bases para o projeto estrutural. Anexo A2: Aplicação a pontes (Normativo);
- EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1 – Ações nas estruturas. Parte 1-1: Ações gerais. Pesos volumétricos, pesos próprios e cargas de exploração em edifícios;
- EN 1991-1-6 – Eurocódigo 1 – Ações nas estruturas. Parte 1-6: Ações gerais – Ações durante a execução;
- EN 1991-2 – Eurocódigo 1 – Ações nas estruturas. Parte 2: Ações de tráfego em pontes;
- EN 1992-1-1 – Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas em betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- EN 1992-2 – Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas em betão. Parte 2: Pontes em betão. Projeto e disposições construtivas;
- EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas em aço. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- EN 1993-2 – Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas em aço. Parte 2: Pontes em aço;
- EN 1994-2 – Eurocódigo 4 – Projeto de estruturas mistas aço-betão. Parte 2: Regras gerais e regras para pontes;
- EN 1997-1 – Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico. Parte 1: Regras gerais;
- EN 1998-1 – Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência a sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios;
- EN 1998-2 – Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência a sismos. Parte 2: Pontes;

- EN 1998-5 – Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência a sismos. Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspetos geotécnicos.

4.3 Critérios de Dimensionamento

4.3.1 Tempo de Vida Útil

Tendo em conta o preconizado no ponto 2.3 da EN 1990, as estruturas são classificadas como sendo de categoria de projeto 5, a que corresponde um valor indicativo de tempo de vida útil de projeto de 100 anos.

4.3.2 Materiais

4.3.2.1 Betão

Os betões foram definidos de acordo com as normas EN 1992 1 1:2010 e EN 206:2013+A1:2017.

Classe Mínima de Resistência à Compressão

- Pilar C35/45

Classe de Exposição Ambiental e Recobrimento Mínimo Nominal

- Pilar XC4/ 55 mm

Teor Máximo de Cloretos, Dimensão Máxima dos Agregados e Classe de Consistência

- Pilar Cl 0,40 / $D_{máx} 20 / \geq S3$

4.3.2.2 Aço para Betão Armado

Foram previstas armaduras passivas em varões de alta aderência, do tipo FeE500B, com limite elástico característico $f_{yk} = 500 MPa$, conforme definido na norma EN 1992 - 1 - 1 (EC2).

4.3.3 Critérios de Verificação de Segurança

Para a verificação da segurança, foram aplicadas as disposições dos Eurocódigos, que seguem a filosofia dos estados limites, divididos conforme a função e a situação de projeto. Estes estados limites enquadram-se em duas grandes categorias:

- **Estados Limites Últimos (ELU)**, associados à segurança estrutural e à estabilidade global;
- **Estados Limites de Utilização (ELS)**, relacionados com a funcionalidade, conforto e aparência da estrutura.

4.3.3.1 Estados Limites Últimos

A verificação do ELU é realizada segundo os princípios definidos nos Eurocódigos, nomeadamente através da condição fundamental apresentada na equação 4-1.

$$S_d \leq R_d \quad 4-1$$

Sendo S_d e R_d , respetivamente, os valores de cálculo das ações (solicitação) e da resistência da secção.

Os valores dos esforços de cálculo foram determinados com base nas combinações de ações definidas nos Eurocódigos, adotando-se os coeficientes parciais de segurança e os valores de cálculo reduzidos das ações atuantes.

No caso da Flexão, os diagramas de cálculo do betão e das armaduras consideraram-se limitados aos valores das extensões:

- Extensão de encurtamento do betão0,35 %
- Extensão de alongamento das armaduras.....1,00 %

Para estas verificações, são consideradas as combinações de ações fundamentais e sísmicas definidas na EN 1990, bem como os coeficientes parciais indicados nas normas EN 1997 - 1 e EN 1990 A2.

Para verificar a segurança em relação aos ELU, foram tidas em consideração as equações 4-2, 4-3 e 4-4.

→ Combinações Fundamentais, geral

$$S_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot PE + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-2$$

→ Combinações Fundamentais, com a ação sísmica como variável base

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + PE + S_E + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-3$$

→ Combinações Acidentais

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + PE + S_{Fa} + (\psi_{1,1} \text{ ou } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-4$$

4.3.3.2 Estados Limites de Utilização

A segurança ao ELS é verificada quando satisfaz a equação 4-5:

$$E_d \leq C_d \quad 4-5$$

Sendo E_d o valor de cálculo dos efeitos das ações especificadas no critério de utilização e C_d o valor de cálculo correspondente ao valor limite estabelecido no critério de utilização.

De modo a verificar a segurança em relação aos ELS, foram consideradas as seguintes combinações, de acordo com as equações 4-6, 4-7 e 4-8:

→ Combinação característica de ações:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + PE + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-6$$

→ Combinação frequente de ações:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + PE + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-7$$

→ Combinação quase-permanente de ações:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + PE + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad 4-8$$

4.3.3.2.1 Estado Limite de Abertura de Fendas

Para os elementos em betão armado, as larguras máximas das fissuras são limitadas a 0,30 mm para uma combinação de ações frequente.

4.3.3.2.2 Verificação da Tensão de Compressão Máxima do Betão

A verificação da segurança relativamente a este Estado Limite estará satisfeita se, para uma combinação característica de ações, a tensão de compressão na secção em estudo não exceder 80 % do valor característico da tensão de rotura do betão à compressão, f_{ck} .

4.3.3.3 Coeficiente de Majoração de Ações

Em geral, os coeficientes de segurança γ_{gi} e γ_{qi} , respetivamente para as ações permanentes e variáveis, são os seguintes:

- Peso próprio da estrutura $\gamma_g = 1,35$ ou $1,00$
- Restantes cargas permanentes $\gamma_g = 1,35$ ou $1,00$
- Retração e fluência $\gamma_g = 1,00$
- Ações Ferroviárias $\gamma_q = 1,45/1,20$ (SW0) ou $0,00$

- Temperatura $\gamma_q = 1,50$ ou $0,00$
- Vento..... $\gamma_q = 1,50$ ou $0,00$
- Impulsos de terras $\gamma_q = 1,50$ ou $0,00$
- Manutenção $\gamma_q = 1,50$ ou $0,00$
- Força de atrito $\gamma_q = 1,00$ ou $0,00$

4.3.3.4 Coeficiente de Redução ψ

Os coeficientes de redução ψ são baseados nas normas EN1990 e EN1991-2 e tomam os valores apresentados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Coeficientes de redução ψ

Ação	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas ferroviárias:			
LM 71	0,80	0,80	0,00
SW/0	0,80	0,80	0,00
SW/2 (1 via carregada)	0,00	1,00	0,00
Sobrecarga em estruturas enterradas	0,80	0,70	0,60
Sobrecarga em passadiços técnicos	0,80	0,50	0,00
Vento	0,75	0,50	0,00
Temperatura	0,60	0,60	0,50

4.4 Cargas adotadas

4.4.1 Ações Permanentes

Para as análises efetuadas no âmbito do estudo dos elementos de obras de arte, foram consideradas as seguintes cargas permanentes:

4.4.1.1 Materiais

- Peso específico betão 24 kN/m^3
- Peso específico betão armado..... 25 kN/m^3
- Peso específico betão leve 18 kN/m^3
- Peso específico do balastro..... $20 \text{ kN/m}^3 (\pm 30\%)$
- Peso específico do aço..... 77 kN/m^3

Nota: Para os cálculos de obras ferroviárias, o peso do balastro deve ser majorado e minorado em 30 %.

4.4.1.2 Restantes Cargas Permanentes

As restantes cargas permanentes consideradas no dimensionamento são as seguintes:

- 2 Carris..... $1,5 \text{ kN/ml/via}$

Travessas + fixações	6,0 kN/ml/via
Impermeabilização + Brita-betume	0,14 x 24 = 3,36 kN/m ²
Cabos em canal técnico.....	0,2 kN/ml /canal
Drenagem.....	1,5 kN/ml/canal
Guarda-corpos.....	25x0,36 = 9 kN/ml

4.4.1.3 Retração e Fluência

A quantificação da retração e da fluência foi realizada de acordo com o estipulado no EC2, em ambientes com RH = 70 %, tendo-se considerado os efeitos diferidos até um período de 10 000 dias.

Para a determinação do efeito da retração no betão segue-se o Anexo B da EN 1992 1 1 no ponto 3.1.4. O valor total da extensão de retração ϵ_{cs} é dada pela equação 4-9.

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} \quad 4-9$$

Em que:

ϵ_{cd} – Extensão de retração por secagem;

ϵ_{ca} – Extensão de retração autogénea.

A evolução da extensão de retração de secagem com o tempo é dada pela equação 4-10.

$$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t,t_0) \times K_h \times \epsilon_{cd,0} \quad 4-10$$

Sendo:

K_h – Coeficiente dependente da espessura equivalente h_0 , como definido na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 – Coeficiente K_h

h_0 [mm]	K_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

$$\beta_{ds}(t,t_0) = (t - t_s) / \left[(t - t_s) + 0.04 \times \sqrt{h_0^3} \right] \quad 4-11$$

Em que:

t – Idade do betão (dias) na data considerada;

t_s – Idade do betão (dias) no início da retração por secagem (fim da cura);

h_0 – Espessura equivalente (mm) da secção transversal = $2A_c/u$.

A extensão de retração por secagem de referência $\varepsilon_{cd,0}$, é determinada pela expressão 4-12.

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \times \left[(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \times \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad 4-12$$

Sendo:

f_{cm} – Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão (MPa);

f_{cm0} – 10 MPa;

α_{ds1} e α_{ds2} são coeficientes que dependem do tipo de cimento, tomando os valores apresentados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 – Coeficientes α_{ds1} e α_{ds2}

Classe de cimento	α_{ds1}	α_{ds2}
Classe S	3	0,13
Classe N	4	0,12
Classe R	6	0,11

$RH = 70 \%$ – humidade relativa ambiente (%)

$RH_0 = 100 \%$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \frac{RH}{RH_0} \right]$$

A extensão autógena é obtida pela equação 4-13.

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) \quad 4-13$$

Em que:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad 4-14$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2t^{0,5}} \quad 4-15$$

com t expresso em dias.

Para o cálculo dos esforços devidos à retração considera-se que, por se tratar de uma ação lenta, o módulo de elasticidade equivalente do betão toma metade do valor do módulo utilizado na análise elástica ($E_C = 50 \% E_{C28}$).

Para a quantificação do efeito da fluência no betão segue-se o Anexo B da EN 1992 1 1. A deformação do betão por fluência $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$, na idade $t = \infty$, para uma tensão de compressão constante, σ_c , aplicada na idade do betão t_0 , é obtida pela equação 4-16.

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \times (\sigma_c / E_c) \quad 4-16$$

Sendo:

$\varphi(\infty, t_0)$ – Coeficiente de fluência a tempo infinito.

O coeficiente de fluência depende da espessura equivalente da secção de betão, do tipo de cimento (Classes S, N ou R) e da resistência característica do betão.

O coeficiente de fluência, $\varphi(t, t_0)$ é calculado a partir da expressão 4-17.

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t, t_0) \quad 4-17$$

em que:

A evolução da extensão de retração de secagem com o tempo é dada por:

φ_0 – Coeficiente de fluência calculado a partir da expressão 4-18

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta_{(f_m)} \times \beta_{(t_0)} \quad 4-18$$

φ_{RH} – Fator que tem em conta a influência da humidade relativa no coeficiente de fluência, e é dado pelas expressões 4-19 e 4-20, dependendo do valor de f_{cm} :

$$\text{Para } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \rightarrow \varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad 4-19$$

$$\text{Para } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \rightarrow \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad 4-20$$

$\beta_{(f_m)}$ – Fator que tem em conta a influência da resistência do betão no coeficiente de fluência convencional, e é dado pela expressão 4-21:

$$\beta_{(f_m)} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad 4-21$$

$\beta_{(t_0)}$ – Fator que tem em conta a influência da idade do betão à data do carregamento no coeficiente de fluência, e é dado pela equação 4-22:

$$\beta_{(t_0)} = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} \quad 4-22$$

h_0 – É a espessura equivalente do elemento, em mm, obtida pela expressão 4-23:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} \quad 4-23$$

Sendo,

A_c – Área da secção transversal;

u – Parte do perímetro do elemento em contacto com o ambiente.

$\beta_{c(t,t_0)}$ – Coeficiente que traduz a evolução da fluência no tempo, após o carregamento, sendo estimado pela seguinte expressão 4-24:

$$\beta_{c(t,t_0)} = \left[\frac{(t - t_0)}{\beta_H + (t - t_0)} \right]^{0,3} \quad 4-24$$

β_H – Coeficiente que depende da humidade relativa (RH em %) e da espessura equivalente do elemento (h_0 em mm), de acordo com as expressões 4-25 e 4-26:

$$f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 \quad 4-25$$

$$f_{cm} > 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3 \quad 4-26$$

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}; \quad \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2}; \quad \alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$$

A influência do tipo de cimento no coeficiente de fluência é tida em conta, corrigindo a idade à data do carregamento t_0 , de acordo com a expressão 4-27:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5 \quad 4-27$$

Tabela 4-4 - Coeficiente α

Classe de cimento	α
Classe S	-1
Classe N	0
Classe R	1

Para os cálculos a realizar, adota-se o cimento de classe N.

As tabelas seguintes (Tabela 4-5 e Tabela 4-6) apresentam os resultados dos cálculos efetuados para a determinação da variação de temperatura equivalente a aplicar ao tabuleiro da obra, de modo a simular de forma precisa os efeitos da retração e fluência do betão.

Tabela 4-5 – Determinação do valor da retração

Evolução da Retração no tempo						
t (dias)	β_{ds} (-)	β_{as} (-)	ϵ_{cd} (-)	ϵ_{ca} (-)	ϵ_{cs} (-)	ΔT_{eq} (°C)
3	-0.285	0.293	-9.16E-05	2.20E-05	0.00007	7.0
15	-0.130	0.539	-4.19E-05	4.04E-05	0.00000	0.1
28	0.000	0.653	0.00E+00	4.90E-05	-0.00005	-4.9
60	0.221	0.788	7.10E-05	5.91E-05	-0.00013	-13.0
365	0.749	0.978	2.41E-04	7.34E-05	-0.00031	-31.4
1000	0.896	0.998	2.88E-04	7.49E-05	-0.00036	-36.3
2500	0.956	1.000	3.07E-04	7.50E-05	-0.00038	-38.2
5000	0.978	1.000	3.14E-04	7.50E-05	-0.00039	-38.9
10000	0.989	1.000	3.18E-04	7.50E-05	-0.000393	-39.3

Tabela 4-6 – Determinação do valor da fluência

Evolução da Fluência e Resistência do betão no tempo								
t (dias)	β_{cc} (-)	fck (MPa)	fcm (MPa)	fctm (MPa)	$\beta_c(t,t_0)$	$\Phi(t,t_0)$ (-)	$\epsilon_{cc}(t,t_0)$ (-)	ΔT_{eq} (°C)
3	0.60	21	29	2.09	0.00	0.00	0.0000	0.00
15	0.91	36	44	3.19	0.28	0.58	0.0000	0.00
28	1.00	40	48	3.50	0.38	0.77	0.0000	0.00
60	1.08	44	52	3.69	0.49	1.00	0.0000	0.00
365	1.20	50	58	3.95	0.76	1.56	0.0000	0.00
1000	1.23	51	59	4.02	0.88	1.80	0.0000	0.00
2500	1.25	52	60	4.06	0.94	1.93	0.0000	0.00
5000	1.26	52	60	4.08	0.97	1.98	0.0000	0.00
10000	1.27	53	61	4.10	0.98	2.01	0.0000	0.00

No tabuleiro do viaduto foi considerada a aplicação de uma variação de temperatura de **- 39,3 °C**, de forma a simular os efeitos de retração sobre o comportamento estrutural do betão.

4.4.2 Ações Variáveis

4.4.2.1 Sobrecargas Ferroviárias

Para a consideração das sobrecargas, foram adotados os modelos definidos na norma EN 1991-2, nomeadamente o Modelo de Carga 71, o Modelo de Carga SW/0 e o Modelo de Carga SW/2.

Os Modelos de Carga 71 e SW/0 representam o efeito estático das cargas verticais resultantes do tráfego ferroviário normal, enquanto o Modelo de Carga SW/2 representa o efeito estático das cargas verticais devido ao tráfego ferroviário pesado.

4.4.2.1.1 Coeficiente de Classificação da Carga

Os valores característicos das cargas dos modelos de cálculo devem ser multiplicados por um coeficiente α nas linhas de tráfego ferroviário mais pesado ou mais leve do que o

normal, sendo aplicáveis apenas aos modelos de carga LM71 e SW/0. Para o presente projeto, o valor deste coeficiente é:

$$\alpha = 1,00$$

Para além das cargas verticais, as ações indicadas em seguida devem ser multiplicadas pelo fator α :

- Cargas verticais equivalentes, relativas a movimentos de terras e ao impulso de terra;
- Forças centrífugas;
- Forças de lacete;
- Forças de arranque e de frenagem;
- Resposta combinada da estrutura e via a ações variáveis;
- Ações de descarrilamento para situações de projeto acidentais.

4.4.2.1.2 Ações Verticais

A disposição das cargas e os seus valores característicos, no caso do Modelo de Carga 71, para as cargas verticais devem ser conforme representado na Figura 4-5.

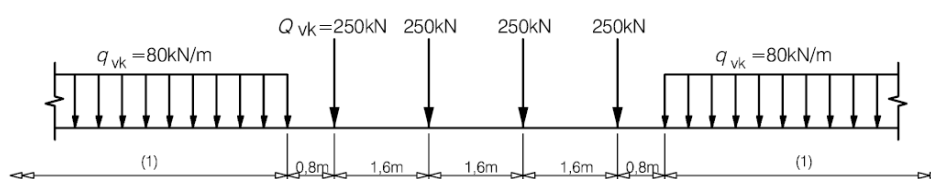


Figura 4-5 – Modelo de Carga 71 e valores característicos das cargas verticais

A disposição das cargas e os seus valores característicos, no caso dos Modelos de Carga SW0/SW2, para as cargas verticais devem ser conforme representado na Figura 4-6.

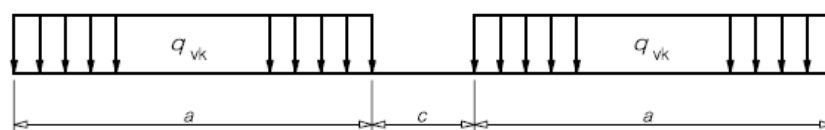


Figura 4-6 – Modelo de SW0/SW2 e valores característicos das cargas verticais

O valor de q_{vk} , a e c é dado na Tabela 4-7, para os Modelos de Carga SW0/SW2:

Tabela 4-7 – Modelo de Carga SW0/SW2 – valores de q_{yk} , a e c

Modelo de Carga	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

O caso de carga designado por “comboio vazio” corresponde a uma carga linear vertical uniforme, com o valor de 12,5 kN/m, aplicada em toda a extensão do tabuleiro da obra.

4.4.2.1.3 Comportamento Dinâmico

Os efeitos dinâmicos da ação ferroviária são considerados através da aplicação de coeficientes dinâmicos apropriados, Φ , definidos de forma diferenciada para elementos estruturais específicos, com limites estabelecidos para a sua aplicação.

O coeficiente dinâmico (Tabela 4-8) a considerar corresponde a Φ_2 ($1 < \Phi_2 < 1,67$), aplicável a uma via com manutenção muito cuidada, e é determinado pela expressão 4-28.

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0.82 \leq 1.67 \quad 4-28$$

Onde, L_Φ representa o comprimento determinante do elemento estrutural em análise.

Tabela 4-8 – Determinação do coeficiente de comportamento

Elemento	Treliça	Laje de betão	Laje de betão do tabuleiro treliçado	Vigas longitudinais do tabuleiro treliçado	Vigas transversais do tabuleiro treliçado	Vigas transversais do tabuleiro treliçado - extremidade
Artigo da tabela 6.2 (EC1-2)	5.4	5.1	4.1	1.2	1.3	1.3
Factor	0.5	1	3	3	2	1
Vão(m)	140.90	15.00	1.55	5.25	11.2	3.6
L_Φ	70.45	15.00	4.65	15.75	22.40	3.60
Φ_2	0.996	1.212	1.556	1.202	1.138	1.668
Φ adotado	1.00	1.220	1.600	1.220	1.150	1.670

4.4.2.1.4 Ações Devidas ao Arranque e Frenagem

De acordo com as indicações do capítulo 6.5.3 da norma EN 1991-2, foram consideradas as seguintes ações de arranque (equação 4-29) e de frenagem (equações 4-30 e 4-31) para os Modelos de Carga LM71, SW/0, SW/2:

- **Força de arranque:**

$$Q_{lak} = 33 [kN/m] \times L_{a,b} [m] \leq 1\,000\,kN \quad 4-29$$

Para os modelos de carga LM71, SW0 e SW2.

- **Força de frenagem:**

$$Q_{lbk} = 20 [kN/m] \times L_{a,b} [m] \leq 6\,000\,kN \quad (\text{Para o LM71 e SW/0}) \quad 4-30$$

$$Q_{lbk} = 35 [kN/m] \times L_{a,b} [m] \quad (\text{Para o SW/2}) \quad 4-31$$

As ações de arranque e de frenagem são majoradas pelo coeficiente α , contudo não são majoradas pelo coeficiente dinâmico.

4.4.2.1.5 Força de Lacete

De acordo com a EN 1991-2, a Força de Lacete deve ser considerada atuando ao nível do topo do carril, perpendicularmente ao eixo da via (reto ou curvo), com um valor característico:

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

Esta força não é multiplicada pelo coeficiente dinâmico nem é afetada por qualquer coeficiente de redução, devendo apenas ser multiplicadas pelo coeficiente α . Só deve ser considerada atuando em conjunto com a carga ferroviária vertical.

4.4.2.1.6 Força Centrífuga

Para os tabuleiros em que a via se desenvolve em curva em toda ou em parte da sua extensão, deve ser considerada a força centrífuga no dimensionamento da estrutura, conforme os valores apresentados na Tabela 4-9. A definição desta força segue as prescrições da norma EN 1991 - 2.

A força centrífuga atua horizontalmente e para o exterior da curva, aplicada a uma altura de 1,80 m acima do nível do carril, e é determinada pela expressão 4-32

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r} (f \times Q_{vk}) = \frac{V^2}{127r} (f \times Q_{vk}) \quad 4-32$$

Onde:

- Q_{tk} – Valores característicos das forças centrífugas associadas às cargas pontuais (kN);
- Q_{vk} – Valor característico das cargas pontuais verticais especificadas para os modelos de carga LM71, SW/0, SW/2;
- f – Coeficiente de redução;
- v – Velocidade máxima (m/s);
- V – Velocidade máxima (km/h);
- g – Aceleração da gravidade (= 9,81 m/s²);
- r – Raio de curvatura (m).

Tabela 4-9 – Valores da Força Centrífuga para cada Modelo de Carga

	LM71 (Dist.)	LM71 (Pont.)	SW/0 (Dist.)	SW/2 (Dist.)
V (km/h)	350	350	350	350
Lf (m)	110	110	110	110
f	0.35	0.35	0.35	0.35
qvk ou Qvk (kN/m)	80	250	133	150
qvk ou Qvk (kN/m)	97.60	122.00	162.26	183.00
r (m)	5560	5560	5560	5560
qtk ou Qtk (kN/m)	5.93	7.41	9.85	11.11
M (kNm)	21.93	27.41	36.45	41.11

4.4.2.2 Ação do Vento sobre a Estrutura e os Veículos

A ação do vento, atuando sobre a estrutura da ponte e sobre os comboios segue o preconizado na EN 1991-1-4.

A velocidade de referência V_b é obtida a partir da expressão 4-33:

$$V_b = C_{prob} \times C_{dir} \times C_{season} \times V_{b,0} = 1 \times 1 \times 1 \times 24 = 24 \text{ m/s} \quad 4-33$$

Para a altura do comboio considera-se o seguinte valor:

$$d = 4,80 \text{ m}$$

A pressão dinâmica de referência q_b é dada pela seguinte equação 4-34:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24^2 = 0,36 \text{ kN/m}^2 \quad 4-34$$

Em que ρ representa a densidade do ar.

O valor do coeficiente de exposição C_e depende da cota de referência Z_e e é determinada pela distância entre o nível mais baixo do terreno natural e o nível central do tabuleiro.

$$\text{Treliça} \rightarrow Z = Z_e \approx 18 \text{ m}$$

$$\text{Tabuleiro de betão} \rightarrow Z = Z_e \approx 9 \text{ m}$$

Por se situar numa zona onde os terrenos são praticamente planos e sem obstáculos significativos, considera-se uma categoria de terreno I, permitindo adotar os seguintes valores para o coeficiente de exposição C_e , como ilustra a Figura 4-7:

$$\text{Treliça} \rightarrow C_e = 3.1$$

$$\text{Tabuleiro de betão} \rightarrow C_e = 2.70$$

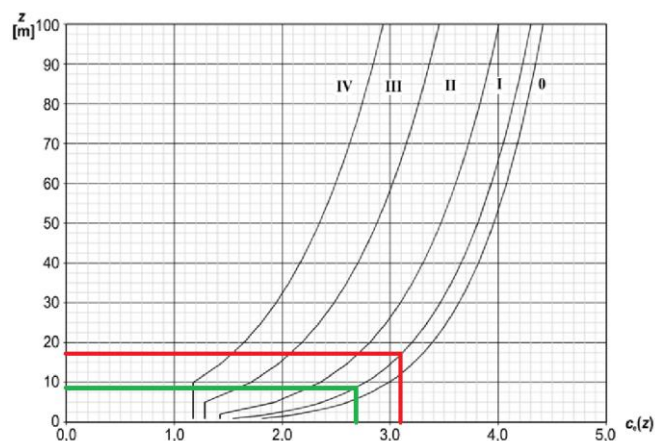


Figura 4-7 – Coeficiente de exposição C_e para treliça (vermelho) e tabuleiro de betão (verde)

Assim, as pressões dinâmicas de ponta q_p são dadas por:

$$\text{Treliça} \rightarrow q_p = C_e \cdot q_b = 3,1 \cdot 0,36 = 1,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tabuleiro de betão} \rightarrow q_p = C_e \cdot q_b = 2,7 \cdot 0,36 = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

A ação do vento é calculada com base no capítulo 8 da norma EN 1991-1-4 – Ações do vento em pontes. Para determinar a pressão real a aplicar sobre a estrutura, é necessário calcular os coeficientes de pressão c_{fx} bem como as áreas de referência correspondentes.

4.4.2.2.1 Ação do vento sobre o Tabuleiro Metálico

Admite-se que a secção transversal da ponte em treliça corresponde à secção seguinte (Figura 4-8), com as anotações e comprimentos indicados a seguir:

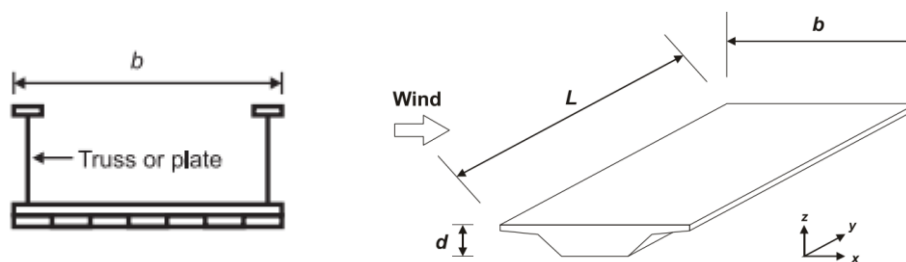


Figura 4-8 – Secção Transversal esquemática

Onde:

$$b = 15,5 \text{ m}$$

$$L = 143,3 \text{ m}$$

$$d = 1,30 \text{ m}$$

Tabuleiro sem tráfego ferroviário – Direção Transversal x

Para o cálculo da área de referência A_{ref} , foi seguida a metodologia indicada no ponto 8.3.1 (4) (b) da norma. Para pontes em treliça, A_{ref} , é a soma dos seguintes elementos (Figura 4-9):

- (4) (b) (1) Área frontal do elemento inferior da treliça = $1,30 \times 143,3 = 186,3 \text{ m}^2$
- (4) (b) (2) Área frontal da barreira acústica (2 barreiras, conforme o quadro 8.1 da EN 1991-1-4) = $2 \times 1,75 \times 143,3 = 501,6 \text{ m}^2$
- (4) (b) (3) Área frontal da treliça (excluindo o elemento inferior e a barreira acústica):
 - Elemento superior = $2 \times 83 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 249 \text{ m}^2$
 - Diagonais = $2 \times (3,2 + 2 \times 7,3 + 2 \times 12,1 + 2 \times 15,4 + 2 \times 17,60 + 2 \times 18,7) \times 1,0 = 290,8 \text{ m}^2$
 - Total treliça + 5 % de segurança = $539,8 \text{ m}^2 \times 1.05 = 567 \text{ m}^2$

Para a situação sem tráfego ferroviário, a área total e os restantes parâmetros são:

$$A_{ref} = 186,3 + 501,6 + 567 = 1\,255 \text{ m}^2$$

$$d_{tot} = \frac{A_{ref}}{L} = 8,76 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 1,76$$

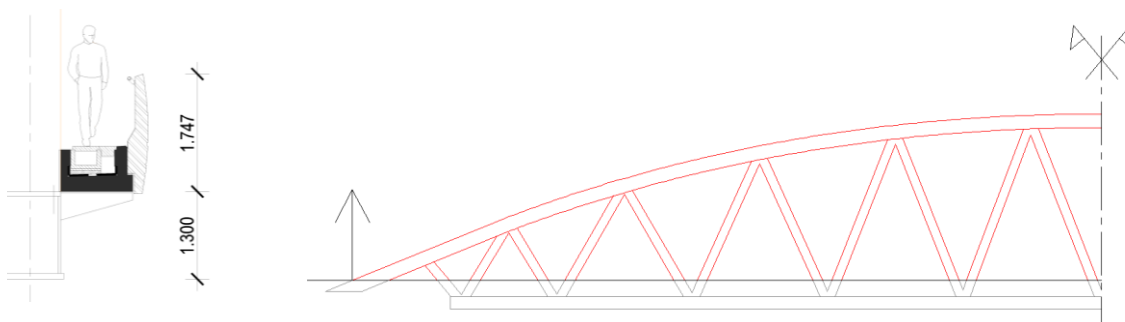


Figura 4-9 – Elemento inferior (1) e barreira acústica (2) à esquerda e restante área da treliça (3) à direita

Assim, tendo em conta o gráfico da Figura 4-10, o coeficiente de força adotado assume o valor de:

$$C_{fx,0} \approx 2.0$$

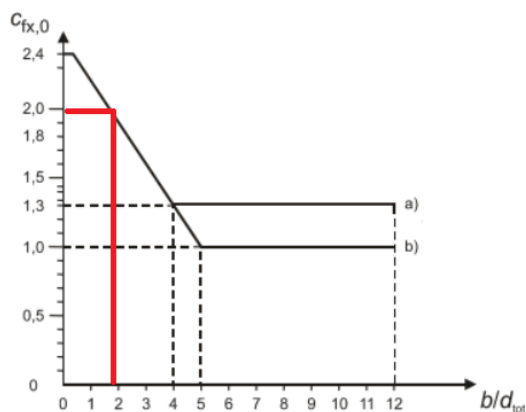


Figura 4-10 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx}

Assim as forças a aplicar a cada elemento para a quantificação do vento assumem os seguintes valores:

$$F_{w,x} = q_p \cdot c_{fx} \cdot (h \text{ ou } A_{ref})$$

$$\text{Membro inferior} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,0 \cdot 1,30 = 2,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Membro superior} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,0 \cdot 1,50 = 3,35 \text{ kN/m}$$

$$\text{Diagonais} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,0 \cdot 1,00 = 2,23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Barreira acústica} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,0 \cdot 1,75 = 3,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Força Total} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,0 \cdot 1\,255 = 2\,811 \text{ kN}$$

Tabuleiro com tráfego ferroviário – Direção Transversal X

Para o cálculo da área de referência A_{ref} , foi seguida a metodologia indicada no ponto 8.3.1 (4) (b) da norma. Para pontes em treliça, A_{ref} é a soma dos seguintes elementos (Figura 4-11):

- (4) (b) (1) Área frontal do elemento inferior da treliça = $1,30 \times 143,3 = 186,3 \text{ m}^2$
- (5) (b) Área frontal do comboio e da barreira acústica = $(1,75 + 4,20) \times 143,3 = 5,95 \times 143,3 = 852,6 \text{ m}^2$
- (3) Área frontal da treliça (excluindo o elemento inferior e a barreira acústica):
 - Total treliça +5% segurança = $539,8 \text{ m}^2 \times 1,05 = 567 \text{ m}^2$

Para a situação com tráfego ferroviário, a área total e os restantes parâmetros são dados por:

$$A_{ref} = 186,3 + 852,6 + 567 = 1\,606 \text{ m}^2$$

$$d_{tot} = \frac{A_{Ref}}{L} = 11,2 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 1,38$$

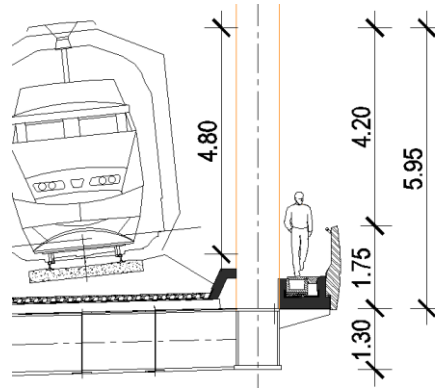


Figura 4-11 - Elemento inferior (1) e barreira acústica + comboio (2)

Assim, tendo em conta o gráfico da Figura 4-12, o coeficiente de força adotado assume o valor de:

$$C_{fx,0} \approx 2.15$$

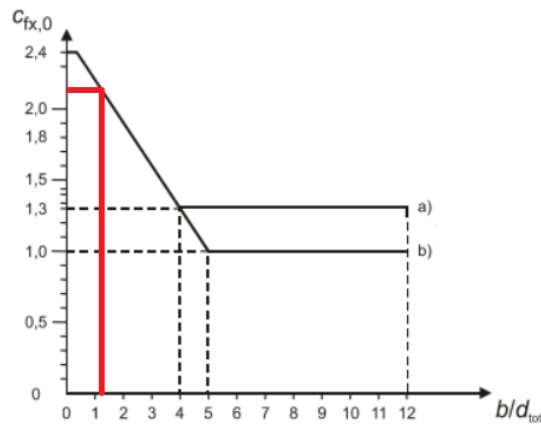


Figura 4-12 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx}

Assim, as forças por metro a aplicar a cada elemento assumem o seguinte valor:

$$F_{w,x} = q_p \cdot c_{fx} \cdot (h \text{ ou } A_{ref})$$

$$\text{Membro inferior} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 1,30 = 3,12 \text{ kN/m}$$

$$\text{Membro superior} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 1,50 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Diagonais} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 1,00 = 2,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Barreira acústica} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 1,75 = 4,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Comboio} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 4,2 = 10,1 \text{ kN/m}$$

$$\text{Força Total} \rightarrow F_{w,x} = 1,12 \cdot 2,15 \cdot 1\ 606 = 3\ 867 \text{ kN}$$

Vento na direção vertical

Para a determinação da força vertical do vento sobre o tabuleiro, foi considerado o disposto no artigo 8.33 da norma EN 1991-1-4, onde o coeficiente de força c_{fz} é calculado a partir do gráfico apresentado na Figura 4-13 com os parâmetros correspondentes:

$$\frac{b}{d_{tot}} = 1,76$$

$$\theta = \alpha + \beta = 5^\circ + 2,5^\circ = 7,5^\circ \approx 10^\circ$$

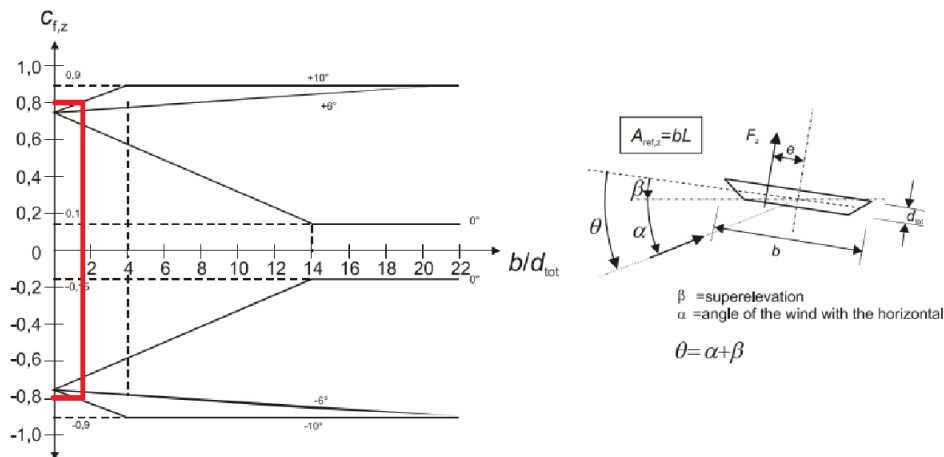


Figura 4-13 – Cálculo do coeficiente de força C_{fz} – vento vertical - treliça

$$c_{fz} = \pm 0,80$$

Assim, a pressão vertical a adotar para o tabuleiro é a seguinte:

$$F_{w,z} = q_p \cdot c_{fz} \cdot A_{ref}$$

$$F_{w,z} = 1,12 \cdot \pm 0,80 \cdot 143,3 \cdot 15,5 = \pm 1990 \text{ kN}$$

$$F_{w,z} = 1,12 \cdot \pm 0,80 = \pm 0,90 \text{ kN/m}^2$$

Vento na direção longitudinal

Tendo em conta o desenvolvimento e a configuração longitudinal da estrutura, bem como a reduzida intensidade das forças do vento em comparação com as ações longitudinais de frenagem, opta-se por desconsiderar as forças longitudinais do vento na presente análise.

4.4.2.2 Ação do vento sobre o Tabuleiro de Betão

Admite-se que a secção transversal da ponte em betão corresponde à seguinte secção (Figura 4-14), com as anotações e comprimentos indicados a seguir:

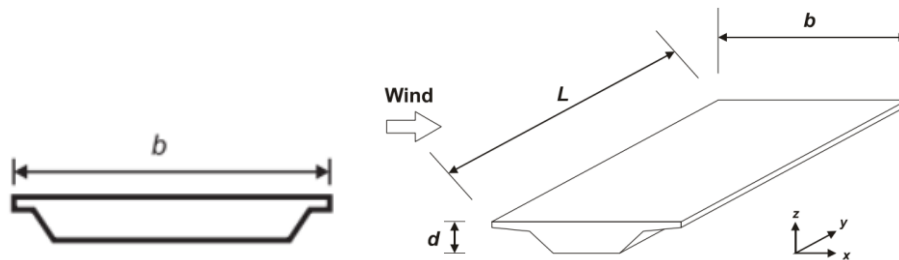


Figura 4-14 – Secção transversal esquemática – tabuleiro de betão

$$b = 15,5 \text{ m}$$

$$d = 1,40 \text{ m}$$

$$L = 16,2 \text{ m}$$

Tabuleiro sem tráfego ferroviário – Direção Transversal X

Para o cálculo da área de referência A_{ref} foi seguida a metodologia indicada no ponto 8.3.1 (4) (b), a qual corresponde à soma dos seguintes elementos:

- (4) (b) (1) Área frontal da laje = $1,4 \times 16,2 = 22,7 \text{ m}^2$
- (4) (b) (2) Área frontal da barreira acústica (2 barreiras, conforme o Quadro 8.1 da EN 1991-1-4) = $2 \times 1,75 \times 16,2 = 56,7 \text{ m}^2$

Para a situação sem tráfego ferroviário, a área total e os restantes parâmetros são dados por:

$$A_{ref} = 22,7 + 56,7 = 79,4 \text{ m}^2$$

$$d_{tot} = \frac{A_{Ref}}{L} = 4,90 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 3,16$$

Assim, tendo em consideração o gráfico da Figura 4-15, o coeficiente de força adotado assume o valor de:

$$C_{fx,0} \approx 1,6$$

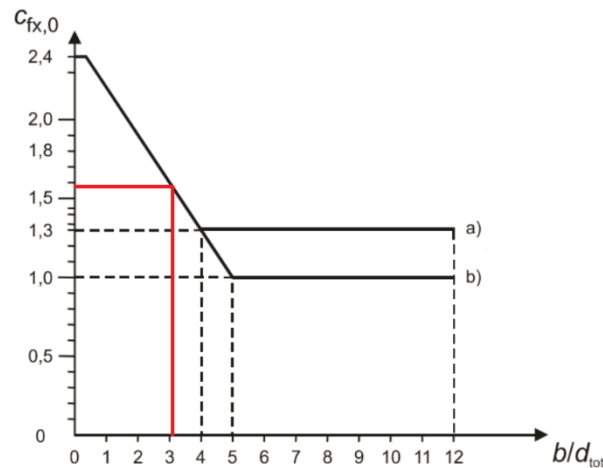


Figura 4-15 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx} – tabuleiro de betão sem tráfego ferroviário

Assim, as forças por metro a aplicar a cada elemento assumem o seguinte valor:

$$F_{w,x} = q_p \cdot c_{fx} \cdot (h \text{ ou } A_{ref})$$

$$\text{Tabuleiro} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,6 \cdot 1,4 = 2,18 \text{ kN/m}$$

$$\text{Barreira acústica} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,6 \cdot 1,75 = 2,72 \text{ kN/m}$$

$$\text{Força Total} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,6 \cdot 79,4 = 123,23 \text{ kN}$$

Tabuleiro com tráfego ferroviário – Direção Transversal x

Para o cálculo da área de referência A_{ref} foi seguida a metodologia indicada no ponto 8.3.1 (4) (b), a qual corresponde à soma dos seguintes elementos:

- (4) (b) (1) Área frontal da laje = $1,4 \times 16,2 = 22,7 \text{ m}^2$
- (5)(b) Área frontal do comboio e da barreira acústica
= $(1,75 + 4,20) \times 16,2 = 5,95 \times 143,3 = 96,4 \text{ m}^2$

Para a situação com tráfego ferroviário, a área total e os restantes parâmetros são os seguintes:

$$A_{ref} = 22,7 + 96,4 = 119,1 \text{ m}^2$$

$$d_{tot} = \frac{A_{Ref}}{L} = 7,35 \text{ m}$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = 2,11$$

Assim, tendo em consideração o gráfico da Figura 4-16, o coeficiente de força adotado assume o valor de:

$$C_{fx,0} \approx 1,85$$

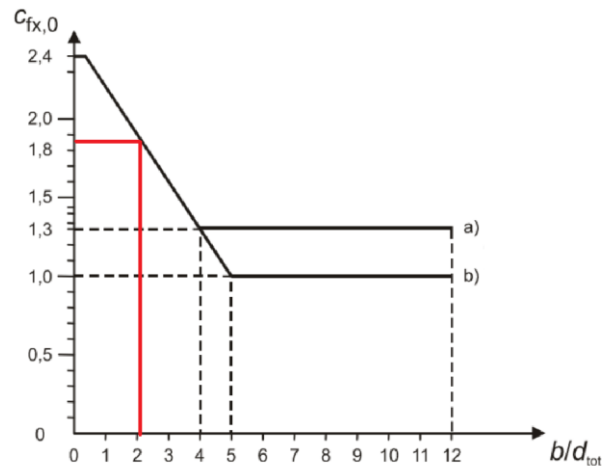


Figura 4-16 – Cálculo do coeficiente de força C_{fx} – Tabuleiro de betão com tráfego ferroviário

Assim, as forças por metro a aplicar a cada elemento assumem o seguinte valor:

$$F_{w,x} = q_p \cdot c_{fx} \cdot (h \text{ ou } A_{ref})$$

$$\text{Tabuleiro} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,85 \cdot 1,4 = 2,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Barreira acútica} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,85 \cdot 1,75 = 3,14 \text{ kN/m}$$

$$\text{Comboio} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,85 \cdot 4,2 = 7,54 \text{ kN/m}$$

$$\text{Força Total} \rightarrow F_{w,x} = 0,97 \cdot 1,85 \cdot 119,1 = 213,7 \text{ kN}$$

Vento na direção vertical

De acordo com o artigo 8.3.3 da EN 1991-1-4, o coeficiente de força vertical c_{fz} é determinado a partir do gráfico correspondente apresentado na Figura 4-17, considerando os parâmetros específicos da secção transversal do tabuleiro, apresentados a seguir:

$$\frac{b}{d_{tot}} = 3,16$$

$$\theta = \alpha + \beta = 5^\circ + 2,5^\circ = 7,5^\circ \approx 10^\circ$$

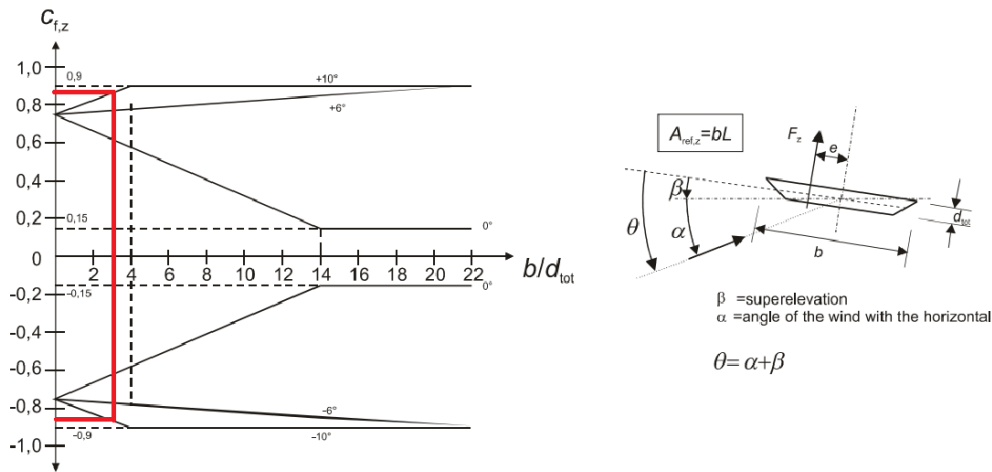


Figura 4-17 – Cálculo do coeficiente de força C_{fz} – vento vertical – tabuleiro de betão

$$C_{fz} \approx \pm 0,90$$

Assim, a pressão vertical a adotar para o tabuleiro é a seguinte:

$$F_{w,z} = q_p \cdot C_{fz} \cdot A_{ref}$$

$$F_{w,z} = 0,97 \cdot \pm 0,90 \cdot 16,2 \cdot 15,5 = \pm 219,2 \text{ kN}$$

$$F_{w,z} = 0,97 \cdot \pm 0,90 = \pm 0,87 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2.3 Ações Térmicas

Esta ação foi simulada através da aplicação de dois tipos de variações de temperatura nas secções estruturais: uma variação uniforme de temperatura e uma variação diferencial de temperatura.

Os efeitos da temperatura nas estruturas são determinados de acordo com as indicações das normas EN 1991-1-5.

4.4.2.3.1 Variação Uniforme de Temperatura

A ação térmica foi considerada em conformidade com a norma EN 1991-1-5, seguindo o disposto na Secção 6.

Os valores característicos das amplitudes máximas de retração e de dilatação da componente de variação uniforme de temperatura do viaduto são:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$$

Para as condições de inverno, foi adotada de forma conservativa uma temperatura exterior mínima de $T_{min} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para as condições de verão, a temperatura exterior máxima considerada é de $T_{max} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Atendendo a que os tabuleiros são em betão armado e pertencem ao tipo 3, considera - se:

$$T_{e,min} = T_{min} + 8 = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 2 = 52\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Considerou-se que a temperatura inicial no momento da introdução das tensões é de $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta T_{N,con} = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Para o cálculo dos esforços, dado que se trata de uma ação lenta, o módulo de elasticidade dos materiais do modelo de cálculo foi reduzido para 50 %.

4.4.2.3.2 Variação Diferencial de Temperatura

A variação diferencial de temperatura foi definida em conformidade com o disposto na EN 1991-1-5, através de uma componente linear equivalente entre a face superior e inferior do tabuleiro.

São analisadas duas situações:

- $\Delta T_{M,heat}$ → superfície superior exposta à radiação solar, enquanto a superfície inferior permanece protegida;
- $\Delta T_{M,cool}$ → superfície superior arrefecida relativamente a superfície inferior.

Os valores de referência destas variações são indicados na Tabela 4-10 (Tabela 6.1 da norma).

Tabela 4-10 – Tabela 6.1 da norma EN 1991-1-5

Type de tablier	Surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	Partie inférieure plus chaude que la surface supérieure
	$\Delta T_{M,heat}$ [°C]	$\Delta T_{M,cool}$ [°C]
Type 1 : Tablier métallique	18	13
Type 2 : Tablier mixte	15	18
Type 3 : Tablier en béton :		
poutre caisson	12	6
poutre	15	8
dalle	12	6

Os valores indicados na Tabela 4-10 devem ser multiplicados pelo coeficiente k_{sur} , apresentado na Tabela 4-11 em função das diferentes espessuras de revestimento (Tabela 6.2 da norma).

Tabela 4-11 – Tabela 6.2 da norma EN 19

Ponts routiers et de chemin de fer et passerelles pour piétons						
Épaisseur du revêtement [en mm]	Type 1		Type 2		Type 3	
	Surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	Partie inférieure plus chaude que la surface supérieure	Surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	Partie inférieure plus chaude que la surface supérieure	Surface supérieure plus chaude que la partie inférieure	Partie inférieure plus chaude que la surface supérieure
	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
sans revêtement	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,0
impermeabilisé ⁽¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,8	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
ballast (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Neste caso, os valores de k_{sur} referem-se à via com balastro. Assim, as temperaturas a aplicar são:

- Tabuleiro misto (tipo 2):
 - $T_d > 0 \rightarrow T_d = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ }^\circ\text{C/m}$
 - $T_d < 0 \rightarrow T_d = -18 \cdot 1,2 = -21,6 \text{ }^\circ\text{C/m}$
- Tabuleiro em betão (laje tipo 3):
 - $T_d > 0 \rightarrow T_d = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ }^\circ\text{C/m}$
 - $T_d < 0 \rightarrow T_d = -6 \cdot 1,0 = -6 \text{ }^\circ\text{C/m}$

4.4.2.3.3 Simultaneidade das Componentes da Variação Uniforme e Diferencial da Temperatura

Para considerar a combinação das ações correspondentes às variações uniforme e diferencial de temperatura deve adotar-se as seguintes combinações:

$$\Delta T_d + \omega_N \cdot \Delta T_u$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_d + \Delta T_u$$

Em que os coeficientes:

$$\omega_N = 0,35$$

$$\omega_M = 0,75$$

4.4.3 Força de Atrito

Nos aparelhos de apoio móveis, o efeito do atrito é simulado através da aplicação de uma força com a seguinte intensidade:

$$F_{Atrito} = R_{CP} \cdot \mu$$

Onde:

R_{CP} – Reação devida às cargas permanentes;

μ – Coeficiente de atrito da superfície de deslizamento do aparelho de apoio.

A determinação do coeficiente de atrito para efeitos de verificação estrutural é realizada de acordo com a Tabela 11 da norma EN 1337-2, sendo o valor dependente do tipo de superfície de deslizamento e da pressão de contacto.

Na obra em questão, a superfície de deslizamento é constituída por PTFE (teflon) e aço inoxidável, sendo os valores do coeficiente de atrito a considerar:

Pressão de contato (MPa)	≤ 5	10	20	≥ 30
Superfície: PTFE + Aço Inoxidável	0,08	0,06	0,04	0,03

A norma também permite uma redução de 2/3 do valor indicado no caso de os aparelhos se encontrarem a temperaturas superiores $a = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dada a localização da obra e as temperaturas a que está exposta, estima-se que possa ser adotado um coeficiente de $0,08 \times 2/3 \approx 0,05$.

4.4.4 Ação Sísmica

A determinação dos parâmetros necessários ao cálculo sísmico foi realizada em conformidade com o EC 8, o qual estabelece as disposições regulamentares para a análise sísmica de estruturas. Foram considerados os critérios de zonamento sísmico e os respetivos parâmetros normativos, assegurando a coerência da modelação estrutural com as exigências regulamentares em vigor.

A obra encontra-se localizada numa zona com $a = 0,14g\text{ m/s}^2$.

Para ilustrar o espectro de resposta de uma estrutura nessa zona, foram adotados os seguintes parâmetros:

- Período de retorno: 975 anos;
- Coeficiente de importância: $\gamma_I = 1,00$;
- Aceleração máxima do solo: $a = 0,14g \Rightarrow a_{gR} \approx \frac{1,40\text{ m}}{\text{s}^2}$
- Coeficiente de amortecimento: 5 % (estrutura resistente em betão).

O espectro de resposta (Figura 4-18) associado ao acelerograma de um determinado sismo permite determinar a aceleração máxima que esse sismo induziria num oscilador com período e coeficiente de amortecimento conhecidos. Para a obra em questão, adotaram-se os seguintes parâmetros (Tabela 4-12 e Tabela 4-13):

Tabela 4-12 – Parâmetros para determinar o espectro de resposta horizontal

Tipo de espectro	S	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
Horizontal	1.218	0.090	0.359	2.050

Tabela 4-13 – Parâmetros para determinar o espectro de resposta vertical

Tipo de espectro	a _{vg} /a _g	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
Vertical	0.681	0.050	0.321	2.050

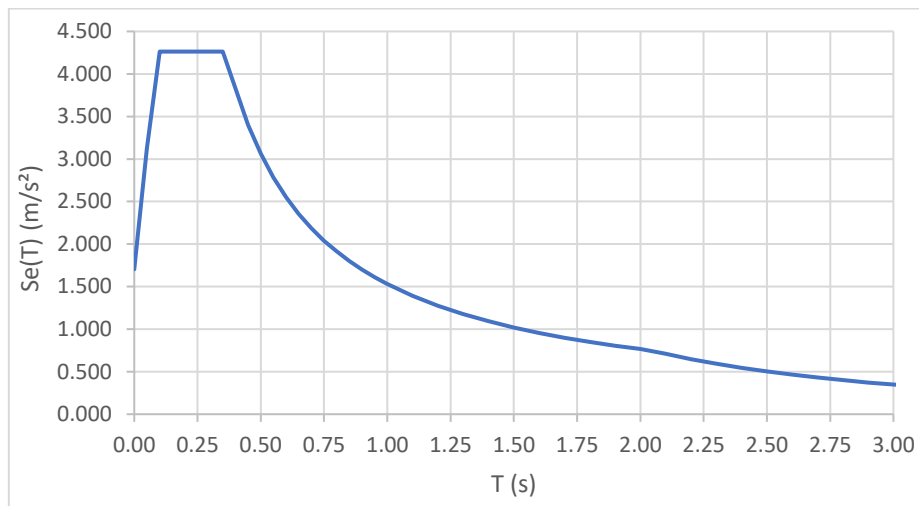


Figura 4-18 – Espectro de Resposta Elástico

A ação sísmica, aplicada individualmente em cada direção, foram combinadas de acordo com as expressões da norma EN 1998-1, de forma a obter uma envolvente da ação sísmica global. As expressões aplicadas são as seguintes:

$$\pm S_1 \pm 0,3S_2 \pm 0,3S_3$$

$$\pm 0,3S_1 \pm S_2 \pm 0,3S_3$$

$$\pm 0,3S_1 \pm 0,3S_2 \pm S_3$$

Onde S_i representa a ação sísmica nas direções longitudinal (S₁), transversal (S₂) e vertical (S₃).

4.5 Caracterização e Dimensionamento do Pilar a analisar

4.5.1 Caracterização

O Pilar PC1 funciona como um apoio intermédio fundamental entre o encontro C00 e a travessa metálica principal em treliça (Figura 4-19). A sua função é assegurar a transmissão dos esforços verticais e horizontais da superestrutura para a fundação, garantindo a estabilidade global da obra.

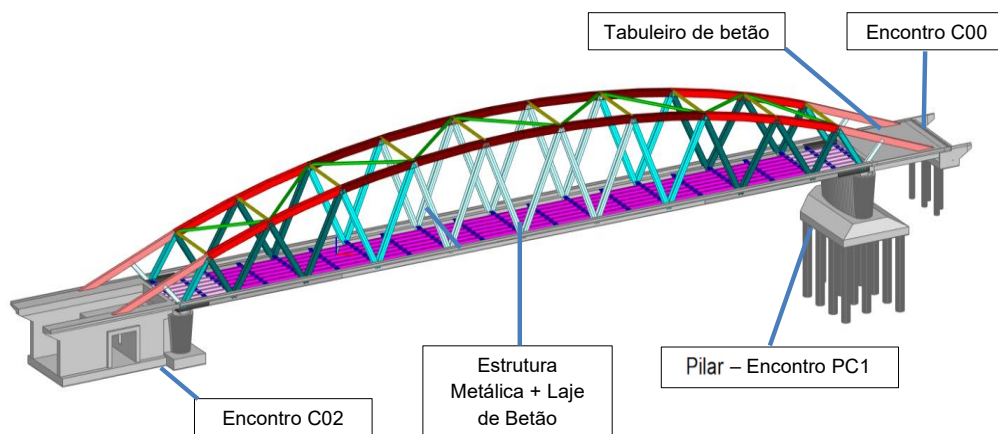


Figura 4-19 – Elementos integrantes da obra

Geometricamente, o pilar é constituído por um fuste único de forma troncocónica oca, concebida em betão armado (Figura 4-20). Exteriormente o fuste possui uma espessura constante de 0,40 m definida por duas superfícies cónica tangentes, com raio de 2,00 m nas extremidades e 27,00 m nas faces principais, contendo no seu interior paredes com 0,60 m de espessura, tal como ilustra a Figura 4-21.

O fuste possui uma altura de 8,21 m, sendo a parte superior do pilar rematada por uma laje maciça de 1,50 m de espessura, sobre a qual assentam os blocos de apoio destinados à colocação dos aparelhos de apoio da superestrutura (Figura 4-22).

A fundação do PC1 é constituída por um maciço de encabeçamento de estacas de geometria variável, com dimensões exteriores de 21,60 m × 13,60 m e espessura de 3,20 m. O elemento fundacional apoia-se em três alinhamentos de estacas profundas, em configuração 4 + 4 + 5, perfazendo um total de 13 estacas de 1,60 m de diâmetro cada.

Esta conceção assegura a capacidade resistente às cargas verticais e horizontais transmitidas pelo tabuleiro, garantindo simultaneamente a estabilidade local e global da estrutura, em conformidade com os critérios de dimensionamento adotados no projeto.

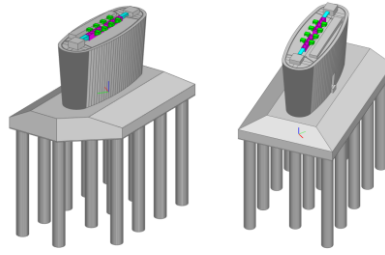


Figura 4-20 – Perspetiva 3D do PC1

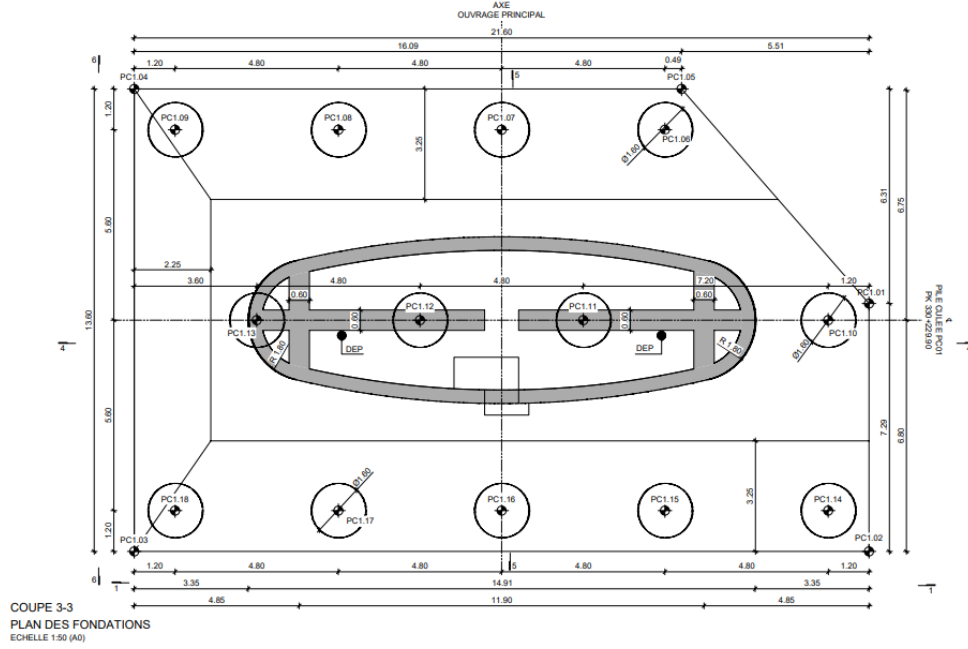


Figura 4-21 – PC1 – Planta

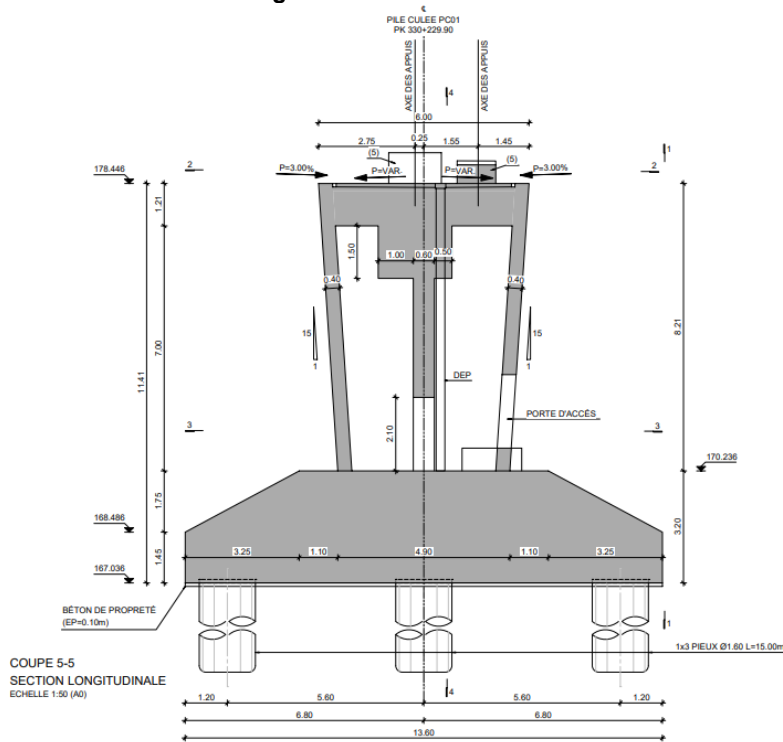


Figura 4-22 – PC1 – Corte Longitudinal

4.5.2 Dimensionamento

Neste subcapítulo procede-se à análise do fuste do pilar PC1, isolado a partir do modelo estrutural global, complementada pelas respetivas verificações de segurança. A Figura 4-23 apresenta o modelo de cálculo específico do elemento.

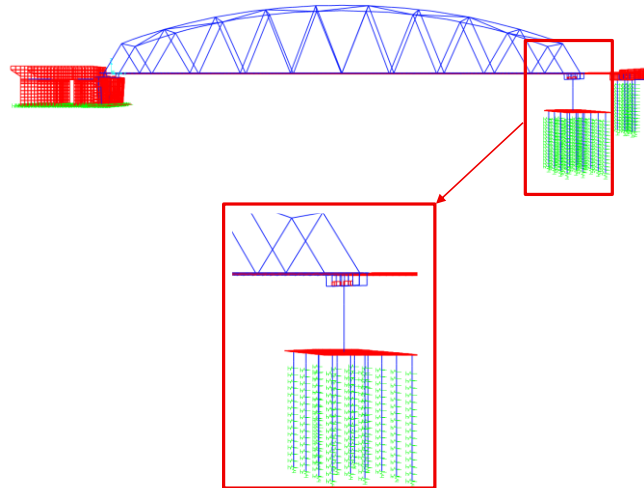


Figura 4-23 – Modelo de Cálculo PC1

O dimensionamento do pilar foi efetuado no *Idea Statica* que é um *software* de cálculo estrutural, amplamente utilizado para o dimensionamento de elementos de betão armado e estruturas metálicas. A sua aplicação baseia-se na avaliação rigorosa das solicitações e na verificação da conformidade normativa, assegurando a segurança e eficiência dos elementos projetados

No *Idea Statica*, considera-se os efeitos de segunda ordem através da definição da altura livre e dos graus de liberdade em cada extremidade (Figura 4-24). Este procedimento permitiu contemplar os efeitos de instabilidade e a amplificação dos esforços internos, em conformidade com o EC2.

Comprimento do elemento comprimido	8,20 m
Comprimento efetivo	De acordo com os apoios ▾
Restrição perpendicular a um eixo	y z
Fim	Articulação ▾ Articulação ▾
Início	Rígido ▾ Rígido ▾
Efeito das imperfeições e de segunda ordem	Calculado ▾
Imperfeição geométrica	
Usar para ELU	<input checked="" type="checkbox"/>
Usar para ELS	<input type="checkbox"/>
Efeito considerado	Elemento isolado ▾
Direção das imperfeições	Da configuração da norma ▾
Efeito de segunda ordem	
Análise dos efeitos de segunda ordem	<input checked="" type="checkbox"/>
Elemento contraventado no eixo y	<input checked="" type="checkbox"/>
Elemento contraventado no eixo z	<input checked="" type="checkbox"/>
Método de análise	Curvatura nominal ▾
Fator c para o eixo y	Definido pelo usuário ▾
cy	9,87 -
Fator c para o eixo z	Definido pelo usuário ▾
cz	9,87 -

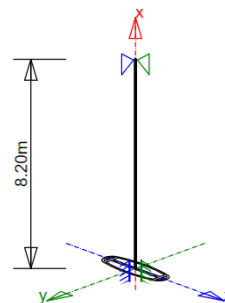


Figura 4-24 – Definição da altura livre do pilar e das condições de apoio

Na Tabela 4-14 apresentam os esforços atuantes e determinantes para o dimensionamento do fuste do pilar PC1 em cada uma das verificações a realizar.

Embora no *Idea Statica* as verificações da abertura de fendas sejam efetuadas com base na combinação quase-permanente, os valores introduzidos no *software* corresponderam à combinação frequente, de forma a cumprir os requisitos definidos no caderno de encargos.

Tabela 4-14 – Esforços determinantes para o dimensionamento do fuste do pilar PC1

Verificação	P	VY	VZ	T	MY	MZ
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Capacidade N-M-M	-36517.3	0	0	27735.9	51112.1	130121.1
Esforço Transverso	0	0	6334.22	0	0	0
Esforço Transverso	0	21378.02	0	0	0	0
Limite de Tensão	-60338.5	0	0	0	-12565	27919.21
Abertura de fendas	-59656.5	0	0	0	14054.51	15910.28

4.5.2.1 Verificação de Segurança em Relação ao Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS)

Armadura e verificação da flexão

A Figura 4-25 apresenta a armadura longitudinal definida para resistir à flexão na secção transversal do pilar. A correspondente verificação estrutural encontra-se representada no diagrama de interação N-M (Figura 4-26), o qual permite analisar a relação entre o esforço axial e o momento fletor, confirmando a adequação da armadura às exigências de segurança (Tabela 4-15).

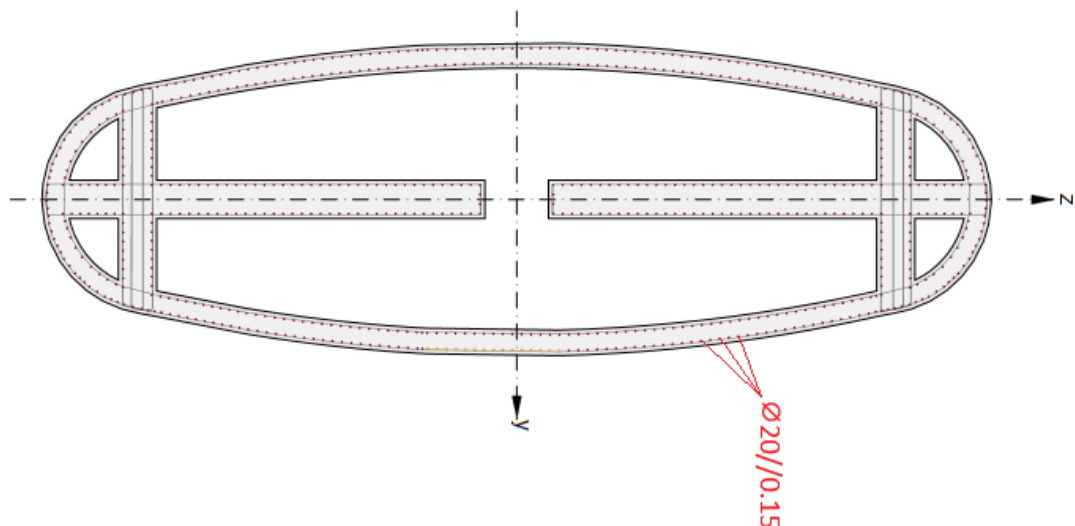


Figura 4-25 – Armadura de flexão

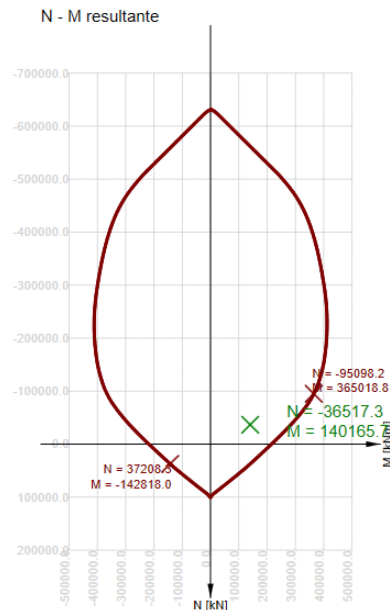


Figura 4-26 – Diagrama de interação N-M

Tabela 4-15 – Verificação da flexão

Capacidade N-M-M

Resultados apresentados para a combinação : ELU Fundamental

N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	Tipo	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
-36517.3	51245.9	130461.8	Nu-Mu-Mu	38.4	100.0	OK

Resistência de cálculo da seção transversal sob esforços axiais e de flexão

Tipo	F_{Ed}	F_{Rd1}	F_{Rd2}
N [kN]	-36517.3	-95098.2	37208.3
M_y [kNm]	51245.9	133454.4	-52215.6
M_z [kNm]	130461.8	339747.9	-132930.4

Recálculo das forças internas (efeito de segunda ordem e imperfeição)

Eixo	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y/z}$ [kNm]	$M_{0,y/z}$ [kNm]	$M_{0Ed,y/z}$ [kNm]	$M_{2,y/z}$ [kNm]
Y	-36517.3	51245.9	51112.1	51245.9	0.0
Z	-36517.3	130461.8	130121.1	130461.8	0.0

Armadura e verificação de esforço transverso

A verificação ao esforço transverso no pilar considerou a contribuição das paredes resistentes em cada direção principal. Na direção y, a solicitação V_y foi dividida por dois, dado que existem duas paredes que participam na resistência ao esforço de corte. A Figura 4-27 apresenta a armadura transversal definida nesta direção, enquanto a Figura 4-28 e a Tabela 4-16 evidenciam os parâmetros e a verificação correspondente, confirmando a conformidade dos esforços atuantes com as capacidades resistentes.

De forma análoga, na direção z, a solicitação V_z foi dividida por três, em virtude da presença de três paredes resistentes. A Figura 4-29 mostra a configuração da armadura transversal nesta direção e a Figura 4-30 conjuntamente com a Tabela 4-17 apresentam os parâmetros e os resultados da verificação, confirmando a adequação da solução adotada às exigências normativas de segurança estrutural.

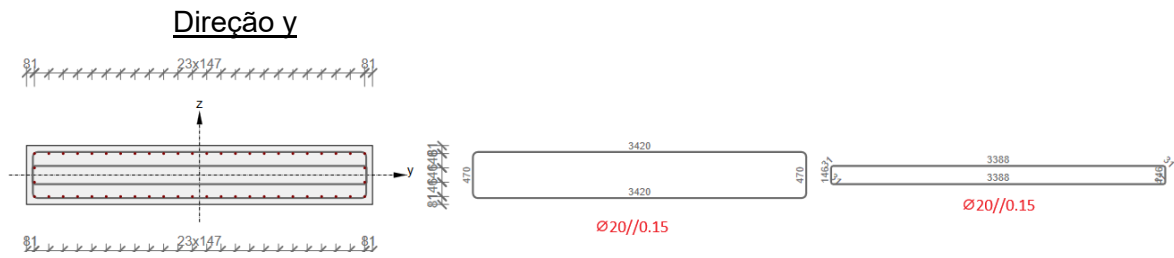


Figura 4-27 – Armadura de esforço transverso na direção y

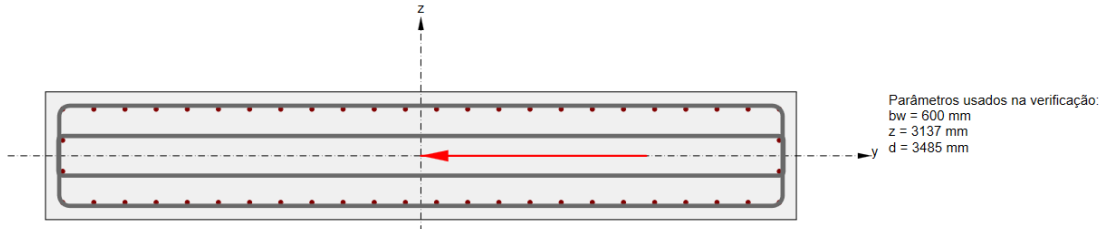


Figura 4-28 – Parâmetros para verificação do esforço transverso na direção y

Tabela 4-16 – Verificação do esforço transverso na direção y

Resultados apresentados para a combinação : ELU Fundamental

V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	Verificar zona	Cláusula	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
10689.0	0.0	11329.0	sem redução	6.2.3(3)	94.4	100.0	OK

Forças cortantes de cálculo e de resistência ao cisalhamento

V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	$V_{Rd,r}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
10689.0	597.5	11329.0	12587.8	11424.5	11329.0

Valores de entrada e resultados intermediários para o cálculo de cisalhamento

n_c	a_{sw} [mm ² /m]	A_{sl} [mm ²]	b_w [mm]	d [mm]	z [mm]	θ [°]	α [°]	σ_{cp}^* [MPa]	α_{cw} [-]
4	8378	0	600	3485	3137	45.0	90.0	0.0	1.00
$C_{Rd,c}$ [-]	k [-]	k_1 [-]	ρ_1 [-]	σ_{cp} [MPa]	σ_{wd} [MPa]	v_{min} [MPa]	v [-]	v_1 [-]	
0.08	1.24	0.15	0.00	0.0	406.8	0.3	0.52	0.52	

– **Direção z**

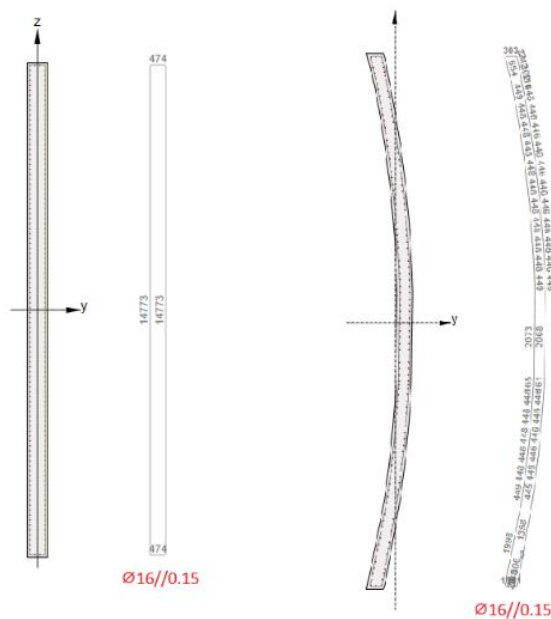


Figura 4-29– Armadura de esforço transverso na direção z

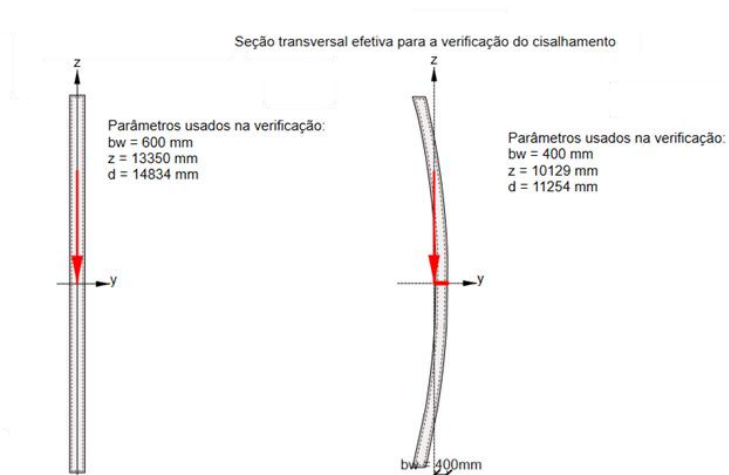


Figura 4-30 – Parâmetros para verificação de esforço transverso na direção z

Tabela 4-17 – Verificação do esforço transverso na direção z

Cisalhamento

Resultados apresentados para a combinação : ELU Fundamental

V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	Verificar zona	Cláusula	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
2111.4	0.0	14315.8	sem redução	6.2.3(3)	14.7	100.0	OK

Forças cortantes de cálculo e de resistência ao cisalhamento

V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	$V_{Rd,r}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
2111.4	2173.0	56070.6	53578.6	14315.8	14315.8

Valores de entrada e resultados intermediários para o cálculo de cisalhamento

n_c	a_{sw} [mm ² /m]	A_{sl} [mm ²]	b_w [mm]	d [mm]	z [mm]	θ [°]	α [°]	σ'_{cp} [MPa]	α_{cw} [-]
2	2681	0	600	14834	13350	45.0	90.0	0.0	1.00
$C_{Rd,c}$ [-]	k [-]	k_1 [-]	ρ_1 [-]	σ_{cp} [MPa]	σ_{wd} [MPa]	v_{min} [MPa]	v [-]	v_1 [-]	
0.08	1.12	0.15	0.00	0.0	59.0	0.2	0.52	0.60	

Cisalhamento

Resultados apresentados para a combinação : ELU Fundamental

V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	Verificar zona	Cláusula	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
2111.4	0.0	10860.2	sem redução	6.2.3(3)	19.4	100.0	OK

Forças cortantes de cálculo e de resistência ao cisalhamento

V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	$V_{Rd,r}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
2111.4	1124.6	28360.3	27099.9	10860.2	10860.2

Valores de entrada e resultados intermediários para o cálculo de cisalhamento

n_c	a_{sw} [mm ² /m]	A_{sl} [mm ²]	b_w [mm]	d [mm]	z [mm]	θ [°]	α [°]	σ'_{cp} [MPa]	α_{cw} [-]
2	2681	0	400	11254	10129	45.0	90.0	0.0	1.00
$C_{Rd,c}$ [-]	k [-]	k_1 [-]	ρ_1 [-]	σ_{cp} [MPa]	σ_{wd} [MPa]	v_{min} [MPa]	v [-]	v_1 [-]	
0.08	1.13	0.15	0.00	0.0	77.8	0.2	0.52	0.60	

Verificação do estado de abertura de fendas

A verificação ao estado de abertura de fendas foi realizada considerando os efeitos de curto e longo prazo. Com base nos resultados apresentados na Tabela 4-18, constata-se que a secção em análise não apresenta fissuração, dado que os valores obtidos se encontram dentro dos limites regulamentares.

Tabela 4-18 – Verificação da abertura de fendas da secção

Abertura de fissura

Abertura de fissura – efeitos de curto prazo

Combinação	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
Quase	-38750.1	-745.5	111.4	0.000	0.300	0.0	100.0	OK

Abertura de fissura – efeito a longo prazo

Combinação	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
Quase	-38750.1	-745.5	111.4	0.000	0.300	0.0	100.0	OK

Coefficiente de fluência

Método de avaliação	h ₀ [mm]	A _c [mm ²]	u [mm]	t [d]	t ₀ [d]	t _s [d]	RH [%]	Usar v _{It}	φ(t,t ₀) [-]
Automático	1371	23359746	34086	36500.0	28.0	7.0	70.0	Não	1.42

Verificação do estado limite de tensões

A verificação do estado limite de tensões foi efetuada de forma distinta para o betão e para o aço. A Figura 4-31 apresenta o diagrama de extensões e tensões no betão, enquanto a Figura 4-32 mostra os mesmos parâmetros para o aço. De acordo com o caderno de encargos, a secção foi verificada relativamente às tensões máximas, registando-se -15,8 MPa no betão e 300 MPa no aço.

A Tabela 4-19 sintetiza os resultados obtidos, evidenciando a conformidade da secção em análise com as exigências normativas, assegurando a segurança estrutural.

Betão

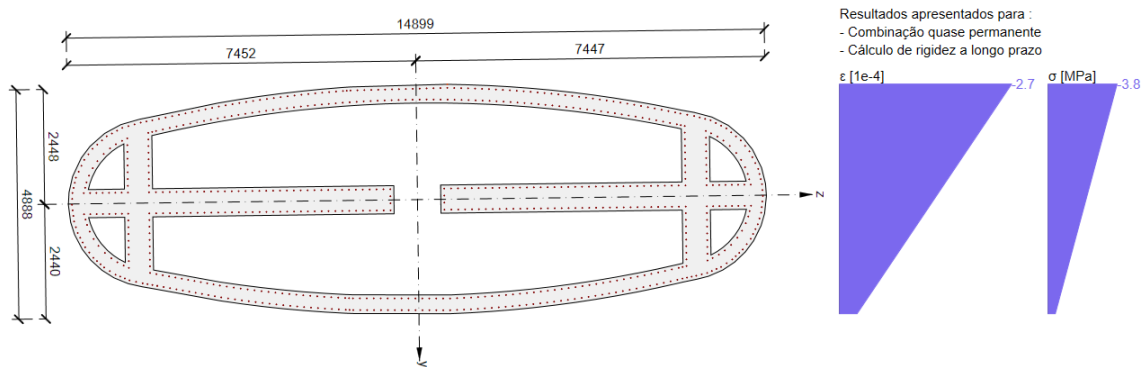


Figura 4-31 – Diagrama de extensões e tensões no betão

Aço

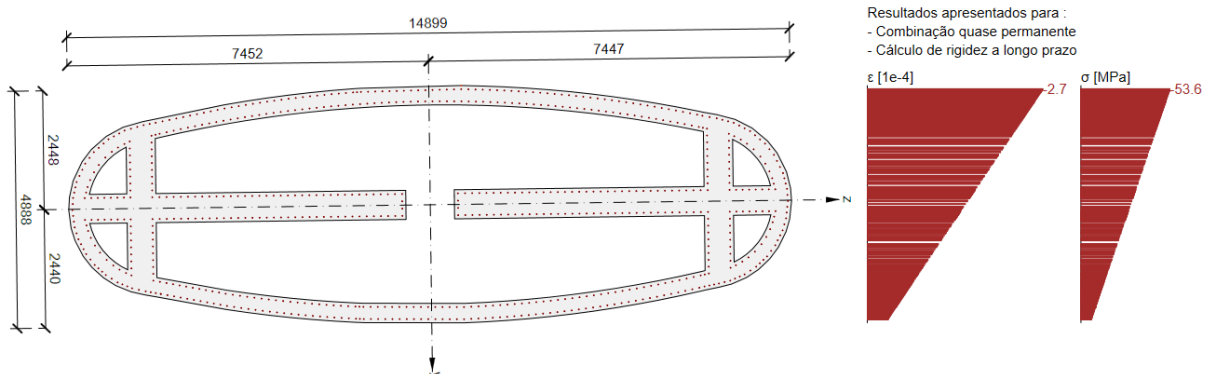


Figura 4-32 – Diagrama de extensões e tensões no aço

Tabela 4-19 – Verificação do estado limite de tensões

Tensão limite

Limitação da tensão - efeito de curto prazo

Tipo de verificação	Tipo de componente	Índice	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
7.2(3)-Quasi	Fibra do concreto	60	-4.1	-15.8	26.1	100.0	OK

Tensão limite - efeito de longo prazo

Tipo de verificação	Tipo de componente	Índice	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Valor [%]	Limite [%]	Verificação
7.2(3)-Quasi	Fibra do concreto	60	-3.8	-15.8	24.2	100.0	OK

Verificação detalhada do concreto - efeito de curto prazo

Tipo de verificação	Fibra	y_i [mm]	z_i [mm]	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Valor [%]	Verificação
7.2(2)-Char	61	-2418	-1402	-58577.4	-18255.0	-45868.9	-4.7	-21.0	22.5	OK
7.2(3)-Quasi	60	-2448	668	-55296.4	5102.5	-36685.6	-4.1	-15.8	26.1	OK

Verificação detalhada do concreto - efeito de longo prazo

Tipo de verificação	Fibra	y_i [mm]	z_i [mm]	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Valor [%]	Verificação
7.2(2)-Char	61	-2418	-1402	-58577.4	-18255.0	-45868.9	-4.4	-21.0	20.9	OK
7.2(3)-Quasi	60	-2448	668	-55296.4	5102.5	-36685.6	-3.8	-15.8	24.2	OK

Coefficiente de fluência

Método de avaliação	h_0 [mm]	A_c [mm ²]	u [mm]	t [d]	t_0 [d]	t_s [d]	RH [%]	Usar V_{it}	$\phi(t, t_0)$ [-]
Automático	1371	23359746	34086	36500.0	28.0	7.0	70.0	Não	1.42

4.6 Modelação de Armaduras no Allplan

A modelação de armaduras em ambiente BIM constitui uma das etapas mais críticas no processo de projeto estrutural, dado que garante não apenas a conformidade normativa das soluções, mas também a compatibilidade construtiva e a redução de erros em fase de execução. Neste contexto, recorreu-se ao *software Allplan Engineering*, que permite a criação de modelos tridimensionais de betão armado com elevado grau de precisão, assegurando a geração automática de armaduras, a sua quantificação e a elaboração de documentação técnica compatível com os regulamentos em vigor.

Segundo Allplan (2021) uma das principais vantagens da modelação 3D reside no facto do *software* reconhecer formas e volumes como objetos, permitindo armar qualquer geometria, inclusive elementos de forma livre. A geração do modelo de armaduras é rápida, bastando definir parâmetros como recobrimento, diâmetro e espaçamento das barras, sendo estas ajustadas automaticamente às superfícies. O engenheiro mantém sempre o controlo, podendo alterar propriedades como forma das barras, ganchos ou recobrimento, com atualização automática no modelo digital, garantindo simultaneamente flexibilidade e rigor no processo de projeto.

Tendo em conta estas potencialidades, a metodologia adotada para a modelação das armaduras do pilar PC1 foi estruturada em etapas sequenciais, de acordo com o fluxo de trabalho definido pelo Allplan (2020) de modo a assegurar a coerência entre o cálculo estrutural e a representação digital. O processo inicia-se com a modelação tridimensional da geometria do elemento estrutural, prossegue com a geração de cortes e vistas associativas

que servem de guia para a colocação das barras, e avança para a inserção das armaduras longitudinais e transversais de acordo com parâmetros tais como, diâmetro, recobrimento e espaçamento. Posteriormente, procede-se ao ajuste do posicionamento das barras, com atualização automática no modelo digital, e à inclusão de etiquetas (*labels*) e listagem de armaduras, garantindo a compatibilidade documental e a conformidade normativa.

4.6.1 Definição Geométrica

A definição geométrica constitui o ponto de partida para a modelação das respetivas armaduras, porém no âmbito do presente estudo, o Pilar PC1 foi caracterizado geometricamente a partir do modelo estrutural desenvolvido no *Allplan Bridge*, considerando as dimensões da secção transversal, altura total e ligação ao tabuleiro e fundações, de acordo com as informações descritas no subcapítulo 4.5.1.

Ainda assim, importa salientar que o *software* disponibiliza ferramentas para a criação da geometria de forma autónoma, através da definição de secções e da extrusão ou modelação paramétrica das mesmas. Esta possibilidade revela-se particularmente útil em situações em que não existe um modelo prévio em *Allplan Bridge* ou quando é necessário desenvolver elementos isolados.

4.6.2 Secções Associativas

As secções associativas constituem representações bidimensionais derivadas diretamente do modelo tridimensional, permitindo a análise detalhada de zonas críticas dos elementos estruturais e servindo de base para a modelação das armaduras. Estas vistas mantêm uma ligação dinâmica com o modelo 3D, assegurando que qualquer modificação efetuada na geometria principal se reflete automaticamente nas vistas derivadas. Este princípio de sincronização, característico da metodologia BIM, garante a consistência entre as diferentes fases do projeto, reduzindo o risco de erros e otimizando o processo de revisão e coordenação.

A criação das secções associativas no *Allplan Engineering* (Figura 4-33) segue uma metodológica estruturada, baseada na extração de cortes e vistas diretamente a partir do modelo tridimensional. Este processo permite definir planos de corte horizontais (planta) e verticais (alçado) que evidenciam as regiões de interesse.

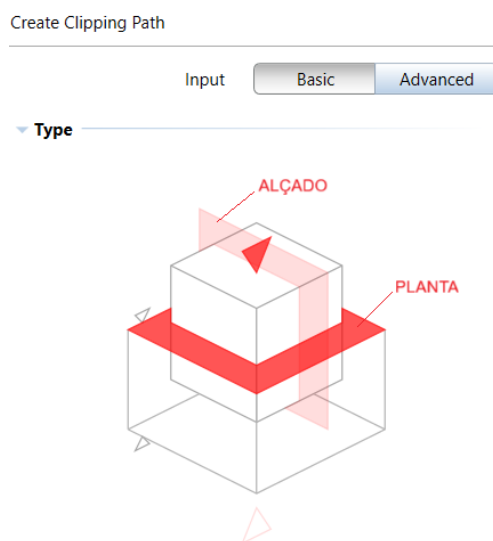
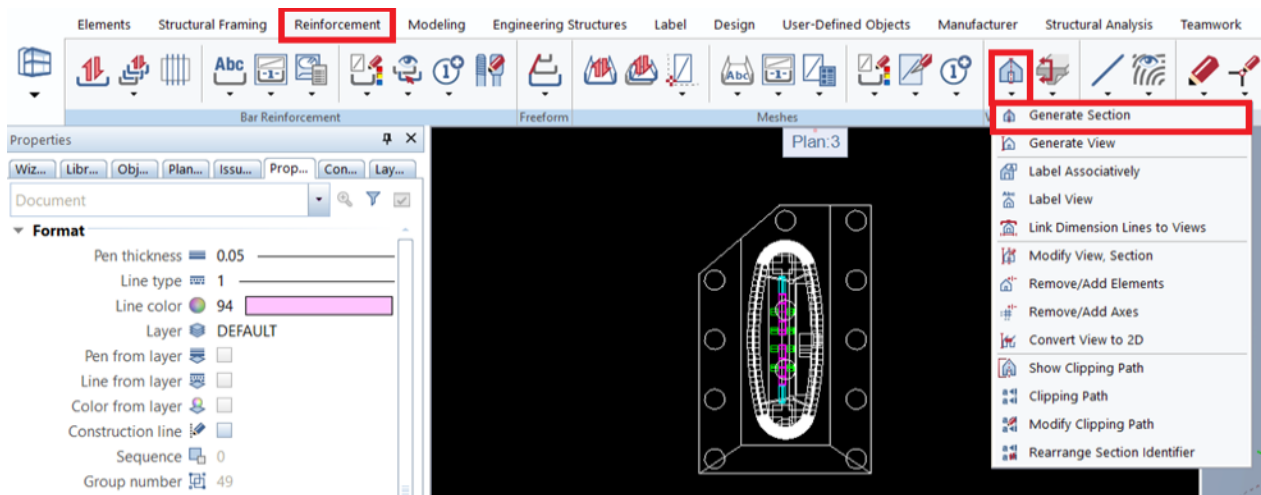


Figura 4-33 – Criar secções associativas no Allplan

No caso de cortes horizontais, a vista é gerada com base na seleção de uma área delimitada em planta, enquanto para os cortes verticais se procede à definição da linha de corte e da respetiva orientação, obtendo-se assim representações detalhadas da estrutura (Figura 4-34). Estas vistas podem ser ajustadas através de manipuladores de controlo (*grips*), que permitem o enquadramento preciso das armaduras e a melhoria da legibilidade gráfica, conforme ilustrado na Figura 4-35.

A utilização de secções associativas revelou-se essencial para o controlo e validação da modelação, permitindo a verificação dimensional dos elementos, a análise da distribuição das armaduras e a preparação da documentação técnica necessária à execução, em conformidade com os princípios da metodologia BIM.

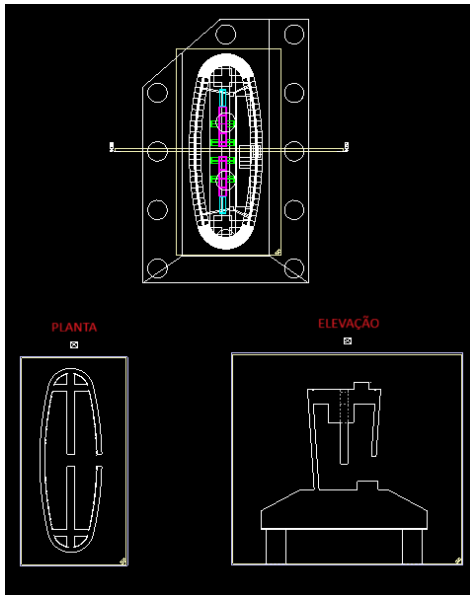


Figura 4-34 – Corte em planta e alçado

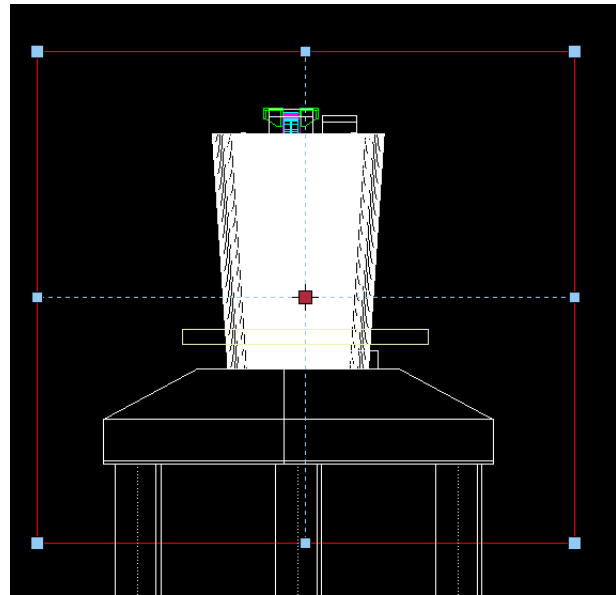


Figura 4-35 – Ajuste dos cortes

4.6.3 Modelação das Armaduras do Pilar

A modelação de armaduras no *Allplan* organiza-se em duas etapas principais: a definição das barras, onde são especificados parâmetros tais como, diâmetro, recobrimento e forma, e a sua distribuição no modelo tridimensional, garantindo a correta adaptação à geometria do elemento.

Em situações de geometrias complexas ou variáveis, como no caso do fuste troncocónico do pilar PC1, o *software* disponibiliza funcionalidades que permitem ajustar as armaduras às superfícies reais do elemento. Conforme descrito pela Allplan (2025), o comando *Sweep Along Path* possibilita a geração de barras ao longo de eixos ou caminhos definidos, assegurando que estas acompanham com rigor a forma real da secção. Complementarmente, a funcionalidade *Polygonal Placement* permite definir duas secções distintas (inicial e final) e distribuir um número de barras entre elas, obtendo variações interpoladas de forma e posicionamento ao longo do elemento estrutural.

No caso específico do pilar, estas ferramentas foram aplicadas para a modelação das armaduras variáveis. Para as armaduras simples, recorreu-se à funcionalidade *Linear Placement*, que consiste em posicionar barras ao longo de uma linha ou trajetória retilínea, mantendo constantes a geometria e o espaçamento. Já as armaduras longitudinais foram modeladas através do comando *Extrude Bar Along Path*, que cria barras contínuas a partir de uma secção base, extrudindo-a rigidamente ao longo de um caminho 3D (*Path3D*), garantindo assim que acompanham fielmente a geometria do fuste do pilar e respeitam os recobrimentos normativos.

O pilar em estudo apresenta uma classe de resistência à compressão C35/45 e um recobrimento de 55 mm e para tal os comprimentos de amarração e sobreposição de varões utilizados foram os descritos na Tabela 4-20 e Tabela 4-21, respetivamente.

Tabela 4-20 – Comprimento de amarração de varões

Betão	Boas condições de aderência	Outras condições de aderência
C 35/45	35 Ø	50 Ø

Tabela 4-21 – Comprimento de sobreposição de varões

Betão	Boas condições de aderência	Outras condições de aderência
C 35/45	50 Ø	70 Ø

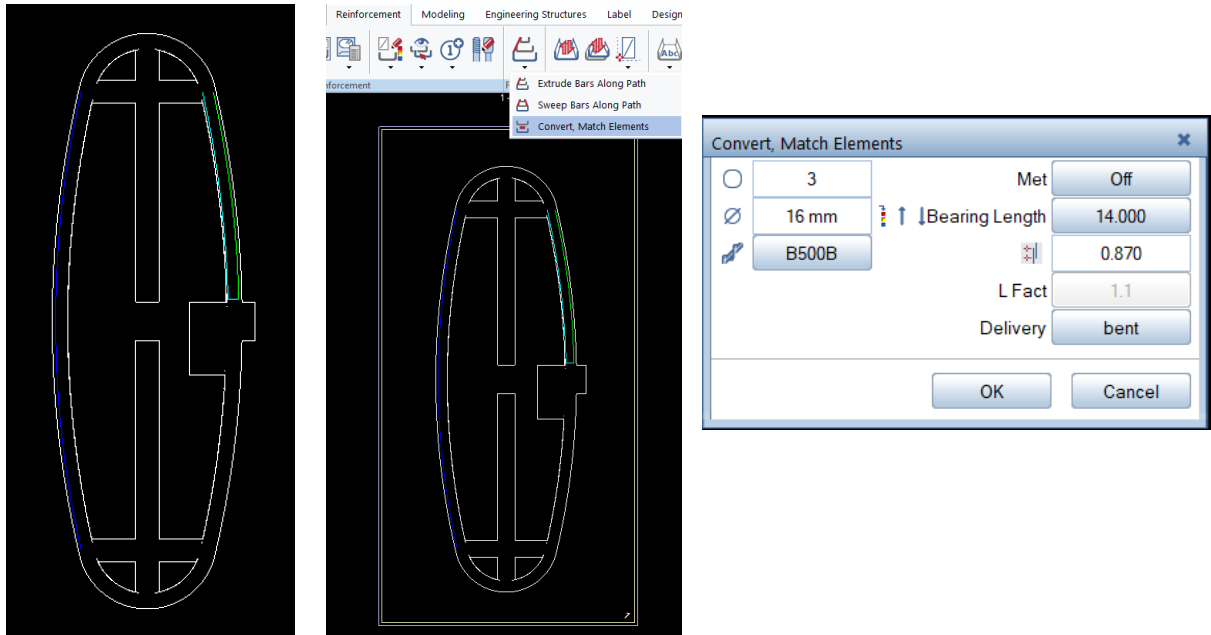
4.6.3.1 Armaduras com Geometria Constantes

As armaduras com geometria constante correspondem a barras cuja forma, comprimentos parciais, ângulos de dobra e recobrimentos se mantêm inalterados ao longo do desenvolvimento do elemento estrutural. Este tipo de solução é particularmente adequado em zonas do pilar onde a geometria da secção transversal permanece uniforme, permitindo a repetição sistemática dos varões e uma modelação mais eficiente.

No caso do pilar PC1, as armaduras com geometria constante foram aplicadas nas zonas em que o fuste apresenta paredes com geometria constante e corresponde aos grupos de barras: N3, N4, N5, N7, N8, N9, N10, N11, N12, N13, N15, N16, N18, N20, N21 e N22, conforme ilustrado no anexo III.

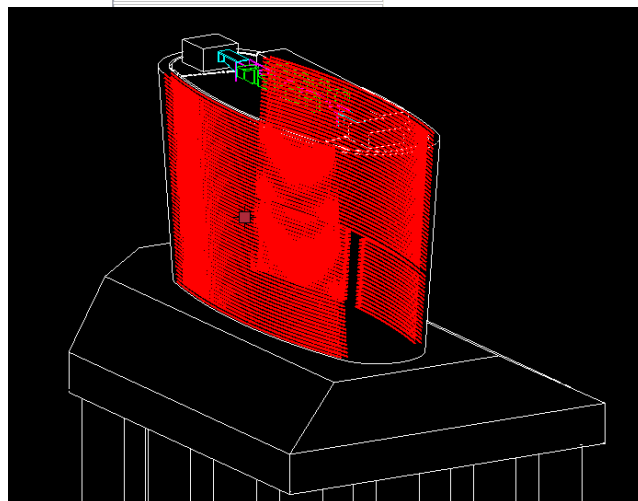
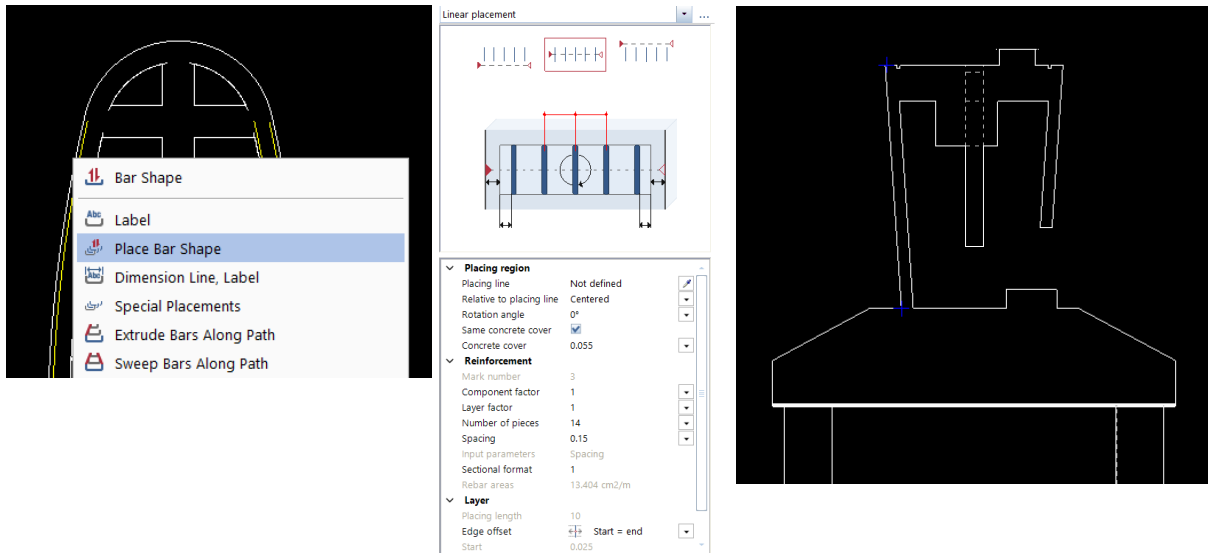
A criação destas armaduras no Allplan seguiu uma metodologia estruturada, baseada em três etapas principais: definição da secção associativa que suporta a geometria das barras; definição da forma da barra e distribuição sistemática das barras ao longo do pilar.

Para as barras N3, N4 e N5, o processo consistiu na conversão das linhas de referência geradas nas secções associativas em barras, assegurando a compatibilidade geométrica e o recobrimento regulamentar. A distribuição ao longo do elemento foi efetuada através da ferramenta *Linear Placement*, garantindo uma distribuição uniforme e coerente com o desenvolvimento vertical do pilar. A Figura 4-36, ilustra este procedimento.



Linha de referência

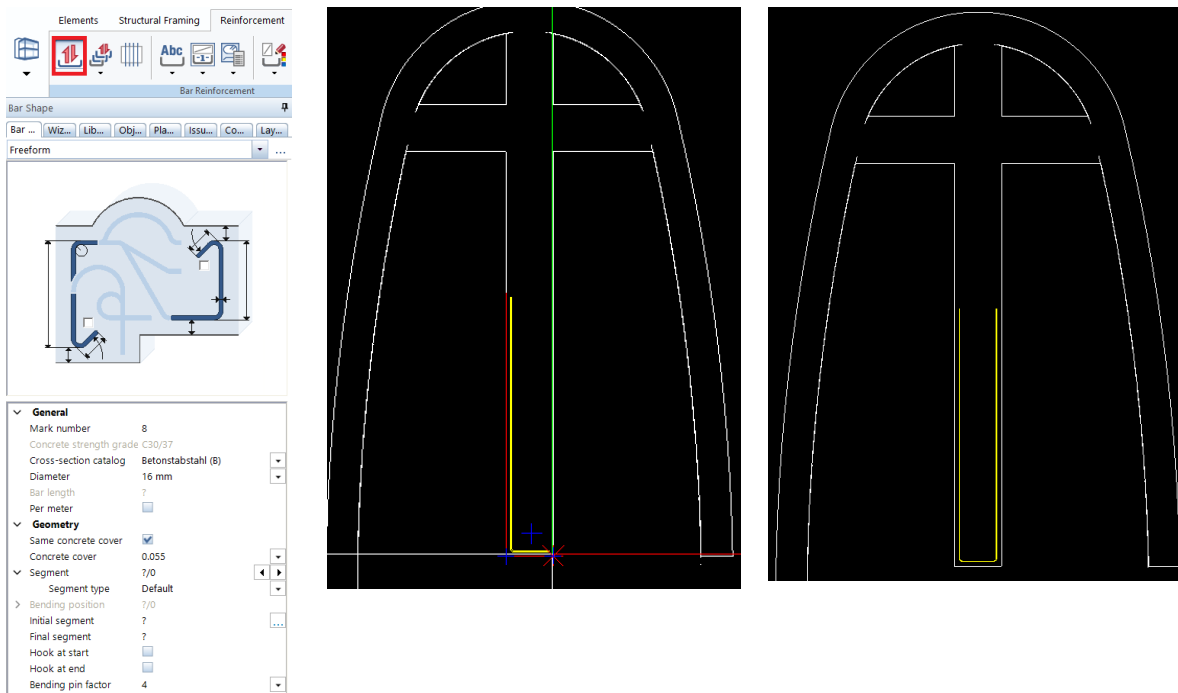
Conversão das linhas de referências em barras



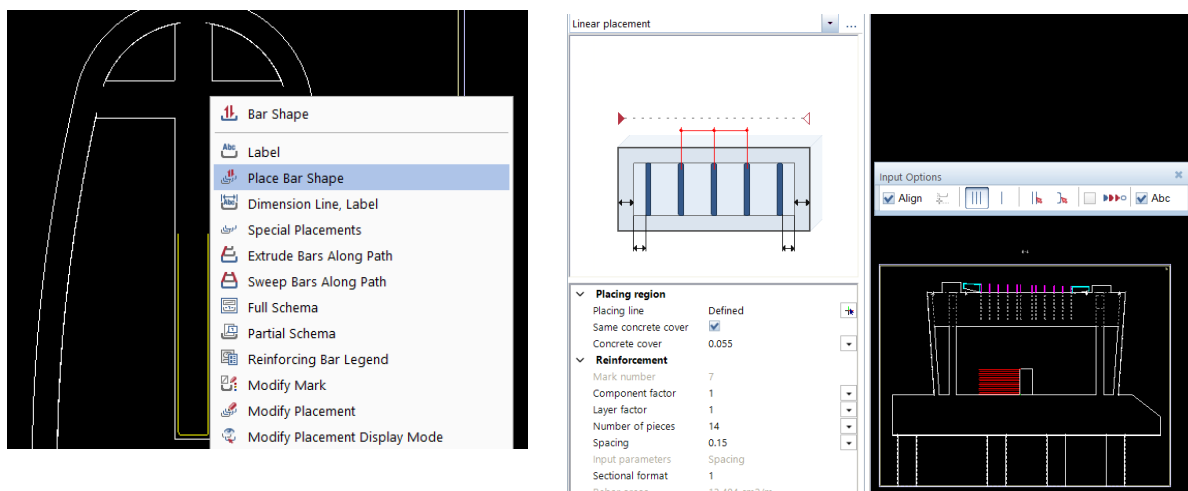
Distribuição das barras

Figura 4-36 – Definição, Distribuição e visualização 3D das N3, N4 e N5

As barras N7, N8, N9, N10, N15, N16, N18, N20 e N21 seguem o mesmo princípio metodológico, distinguindo-se apenas pela forma como a sua geometria é definida. Nestes casos, recorreu-se à ferramenta *Bar Shape* para a criação da forma da armadura e ao *Linear Placement* para a sua distribuição, utilizando a opção *Place Bar Shape*. Foram então especificados os parâmetros necessários como o recobrimento, o espaçamento e a linha de referência definida por dois pontos ao longo da qual se procedeu à colocação das barras de forma uniforme e conforme a geometria do elemento. A Figura 4-37 exemplifica o processo de definição da geometria e de distribuição das barras, enquanto a Figura 4-38 apresenta a visualização tridimensional do conjunto das armaduras geradas com este procedimento.



Definição da geometria



Distribuição das barras

Figura 4-37 – Definição da geometria e Distribuição das barras N7, N8, N9, N10, N15, N16, N18, N20 e N21

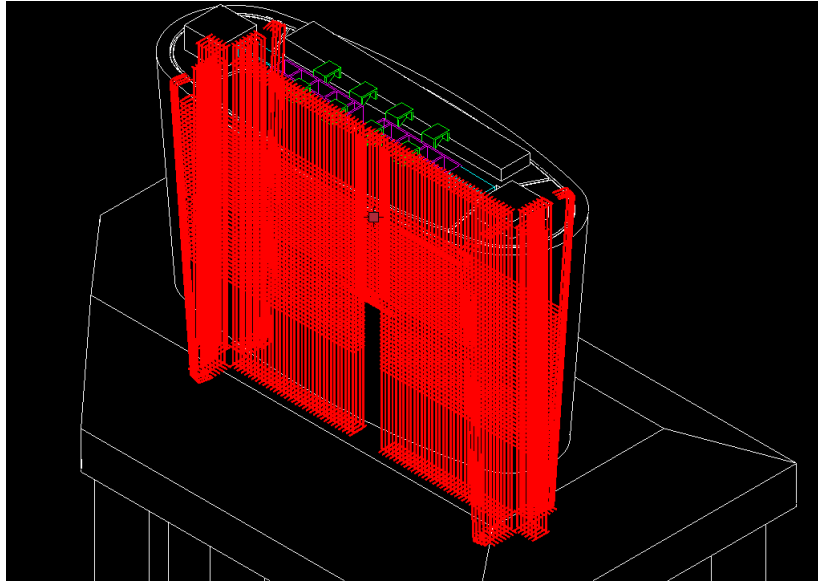


Figura 4-38 – Visualização 3D das Barras N7, N8, N9, N10, N15, N16, N18, N20 e N21

Para as restantes barras N11, N12, N13 e N22, o procedimento adotado consistiu em duas etapas principais: a definição da geometria da barra através da opção *Bar Shape* (Figura 4-39) e a sua distribuição ao longo do elemento estrutural através de *Extrude Bar Along Path* (Figura 4-40). Neste procedimento, o percurso (*path*) é definido por uma linha 3D coincidente com o contorno exterior do pilar, ao longo da qual a armadura é extrudida de forma contínua. Este método garante que as barras acompanham com rigor a geometria troncocónica do fuste, assegurando simultaneamente o recobrimento definido.

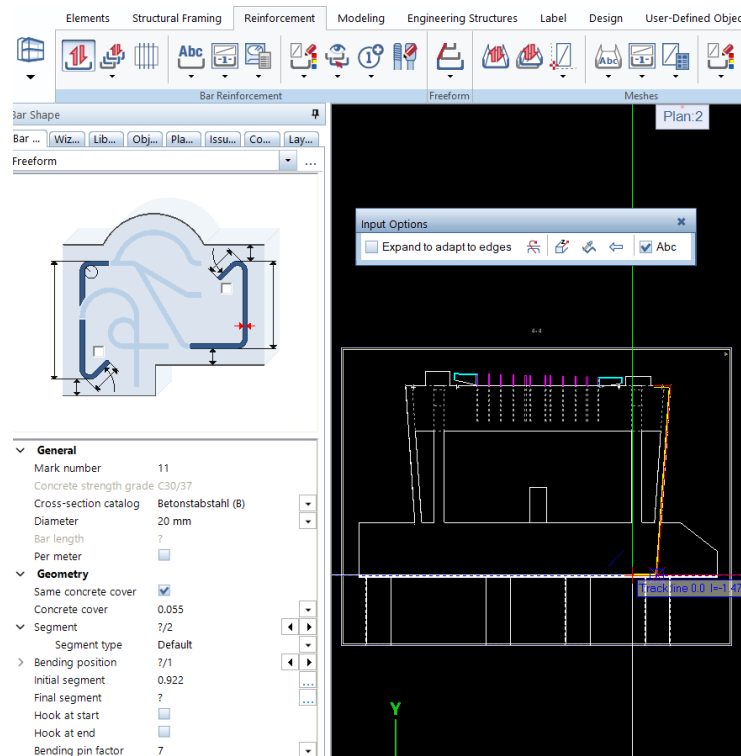


Figura 4-39 – Definição das barras N11, N12, N13 e N22

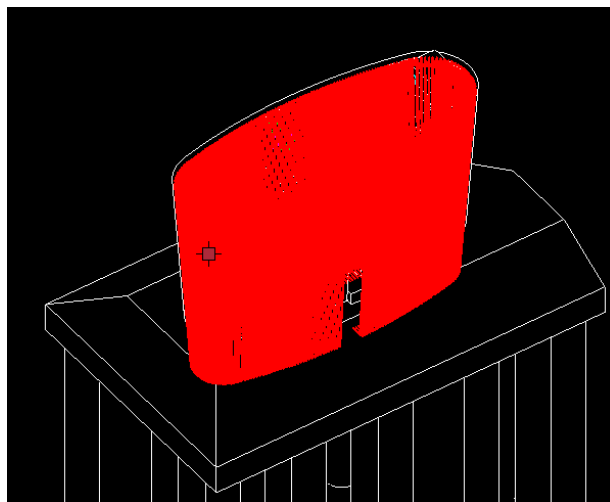
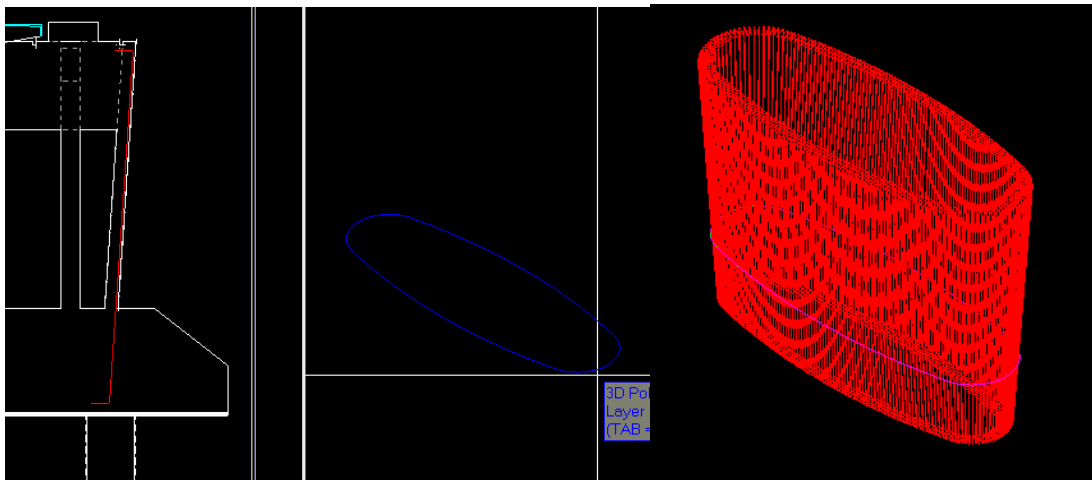
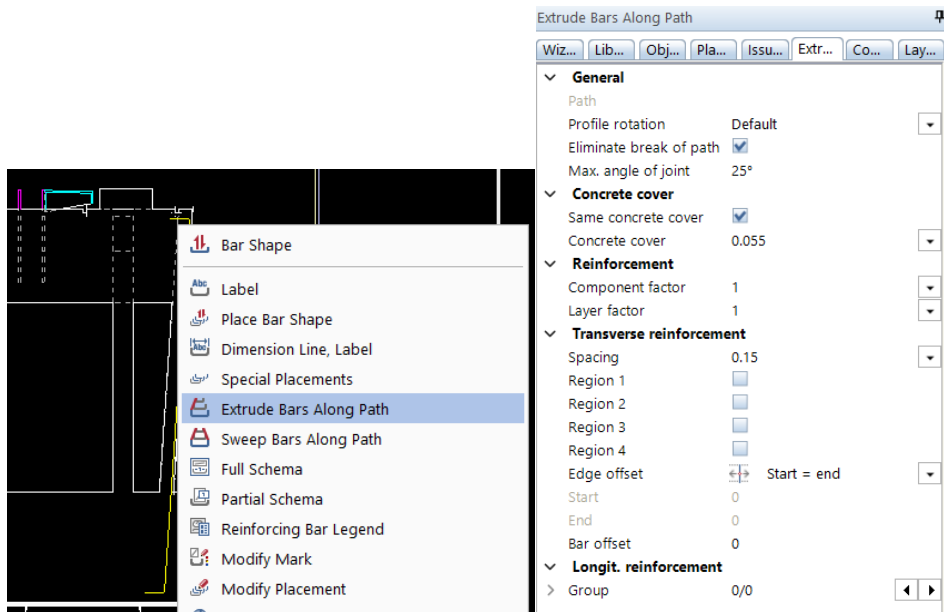


Figura 4-40 – Distribuição e visualização 3D das barras longitudinais da parede exterior N11, N12, N13 e N22

4.6.3.2 Armaduras com Geometria Variável

As armaduras com geometria variável correspondem a barras cujas dimensões, ângulos de dobra ou posicionamento variam ao longo da altura do elemento estrutural, acompanhando alterações geométricas da secção transversal. No caso do pilar PC1, este tipo de armadura é particularmente relevante devido à presença de um fuste troncocónico, no qual o raio exterior varia da base para o topo.

Este comportamento geométrico impede a repetição direta de barras com comprimento e forma constantes, exigindo uma metodologia de modelação capaz de adaptar a armadura à superfície real do elemento. Assim, as barras variáveis foram aplicadas sobretudo nas zonas do pilar, onde se verificam mudanças progressivas de geometria, correspondendo às barras N1, N2, N6, N14, N17 e N19, conforme apresentado no Anexo III.

As barras N1 e N2, correspondem à continuação das barras N3, N4 e N5, cujo objetivo é manter o comprimento, variando apenas o comprimento da emenda (Figura 4-41). Para representar esta configuração foram considerados dois cortes em planta, uma na base e outro no topo, sendo que o corte superior controlava a dimensão mínima da emenda.

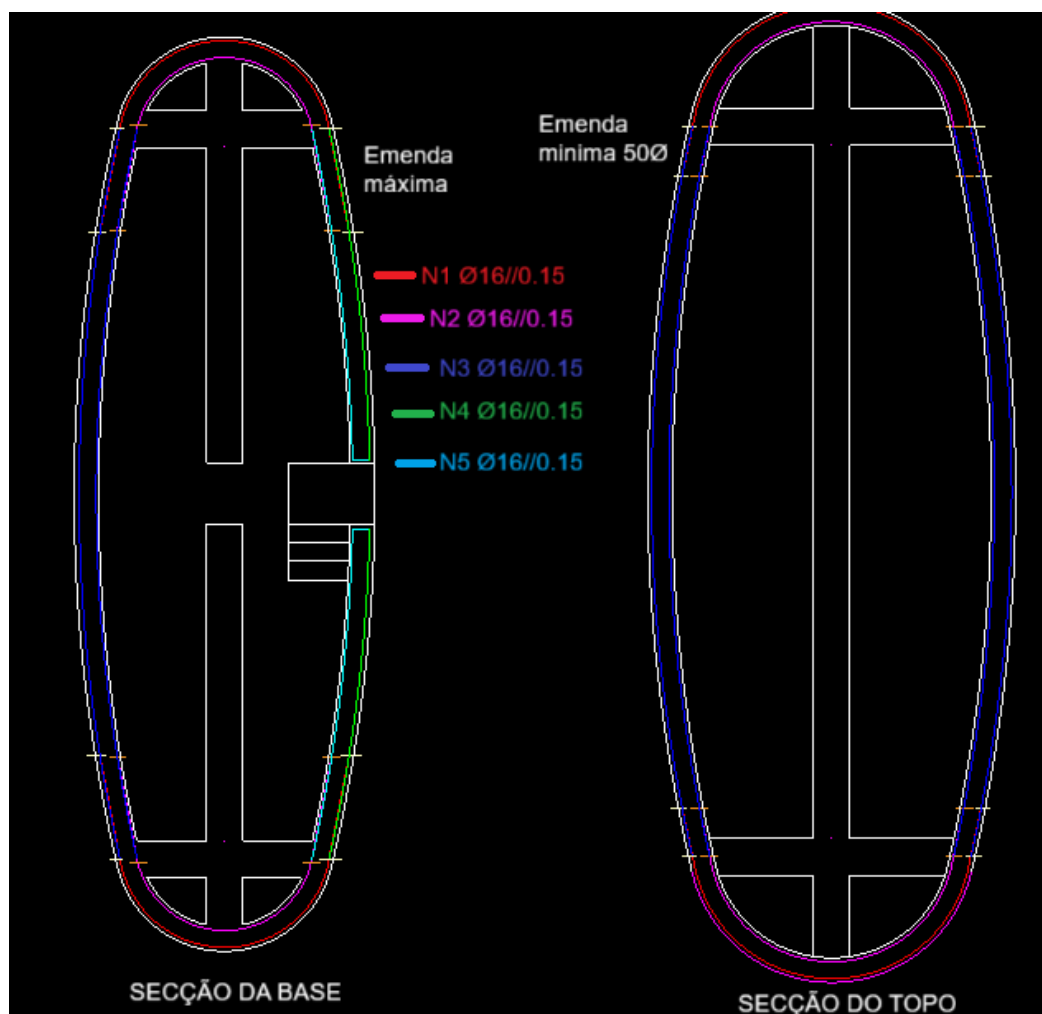


Figura 4-41 – Disposição das barras N1, N2, N3, N4 e N5

A metodologia adotada consistiu inicialmente na definição da geometria da barra na secção de topo através das linhas de referências, de forma a garantir a emenda mínima regulamentar e a determinação do seu comprimento real. De seguida, utilizando esse comprimento como referência, o procedimento foi repetido na secção da base, assegurando que a barra apresentava o mesmo desenvolvimento em ambas as secções (Figura 4-42). Esta abordagem foi adotada com o objetivo de manter constante o comprimento da barra e permitir a variação do raio, acompanhando a geometria troncocónica do pilar.

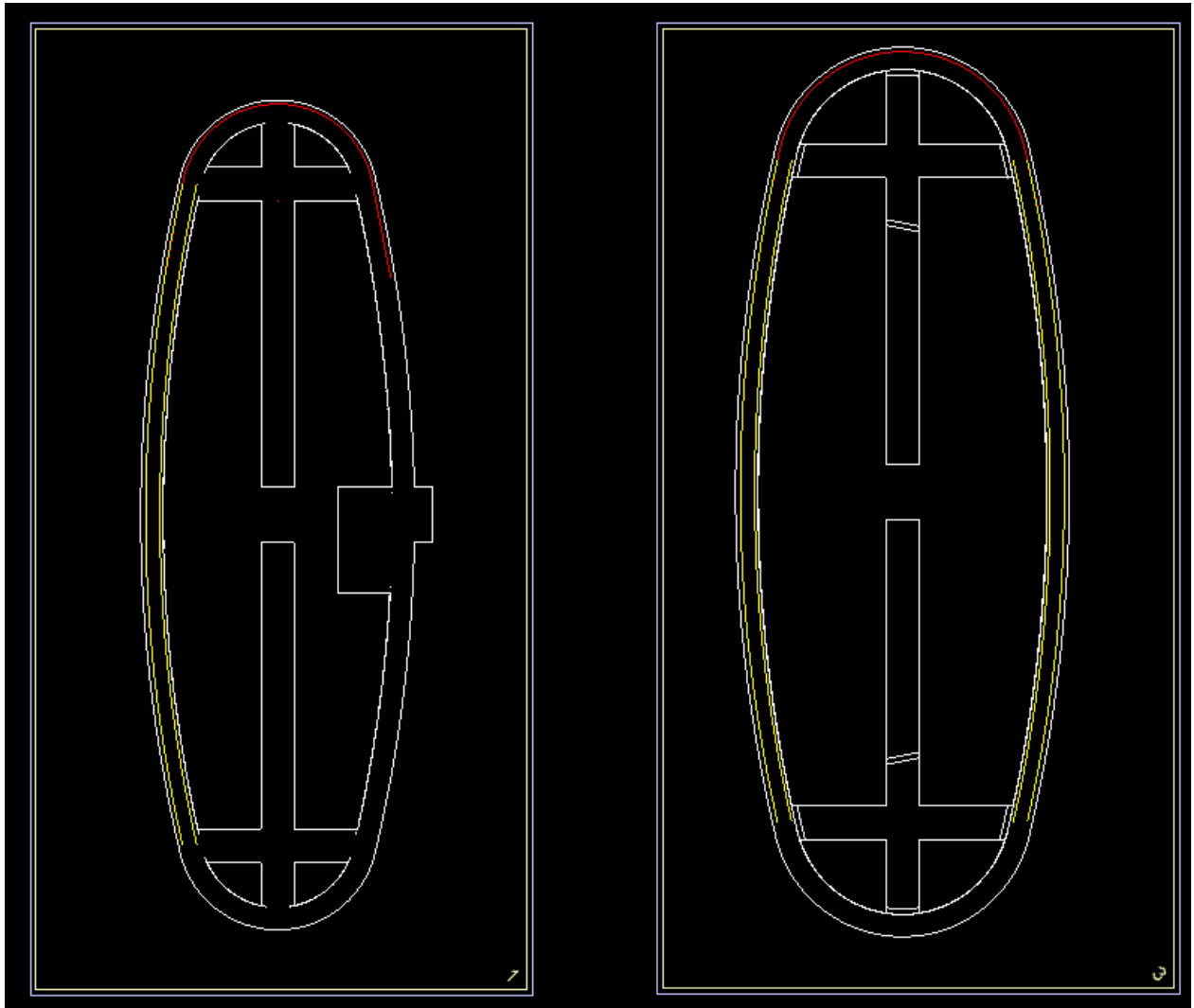


Figura 4-42 – Linha de referência para a definição da barra N1/N2

As linhas previamente traçadas foram convertidas em armaduras, atribuindo-se o respetivo diâmetro e o tipo de aço (Figura 4-43).

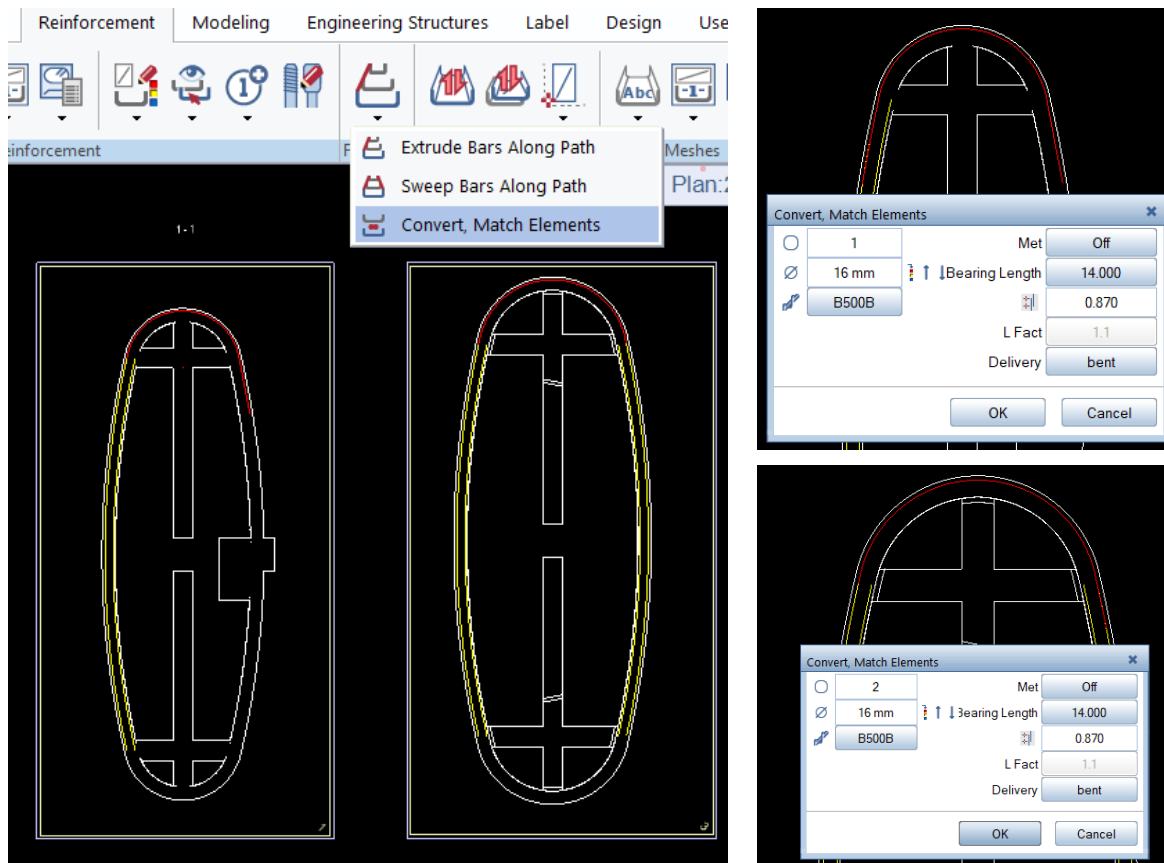


Figura 4-43 – Conversão das linhas de referência na barra N1

A distribuição destas barras é realizada através da opção *Sweep Bar Along Path*, na qual são definidos os parâmetros de recobrimento e espaçamento. O procedimento baseia-se na seleção da barra nas secções de base e de topo, que funcionam como limites geométricos da armadura e estabelecem a sua extensão longitudinal. Posteriormente, são indicados os percursos (*paths*) a serem seguidos pela armadura.

Estes percursos podem ser obtidos diretamente a partir da geometria tridimensional existente no modelo, assegurando a total correspondência com o contorno do pilar, ou, em alternativa, podem ser definidos através da criação manual de linhas 3D de referência, especificamente geradas para orientar o desenvolvimento da barra ao longo do elemento (Figura 4-44).

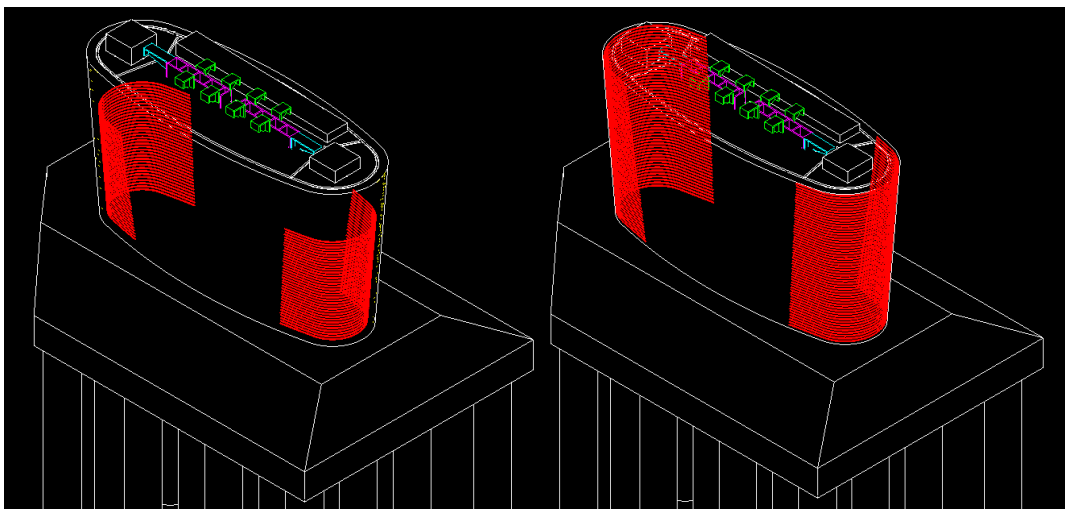
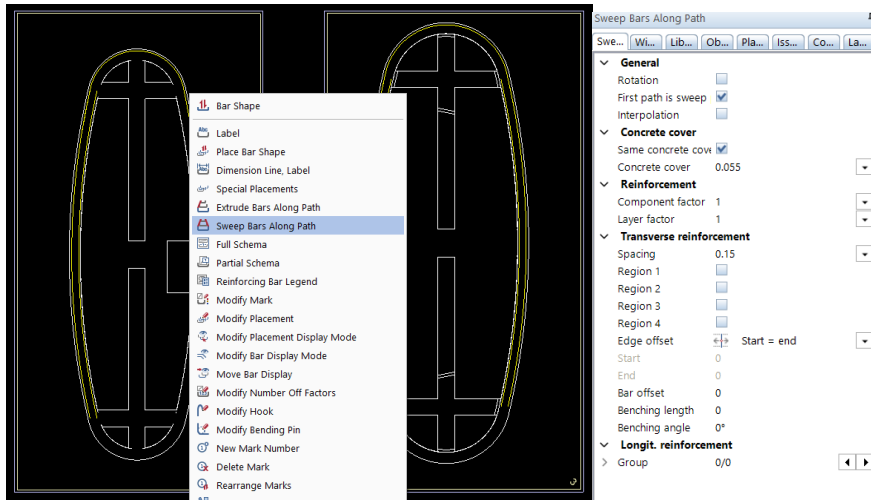


Figura 4-44 – Distribuição e visualização 3D das barras N1 e N2

Nota: Quando se pretende criar barras variáveis, indicando os limites da variação, ou seja, fazendo barras em duas ou mais secções, deve utilizar-se a ferramenta *conversion* do *software*, que converte a barra numa *polyline*. Estas devem possuir o mesmo número de pontos e o *grip* vermelho deve estar do mesmo lado para evitar inversão das barras (Figura 4- 45).

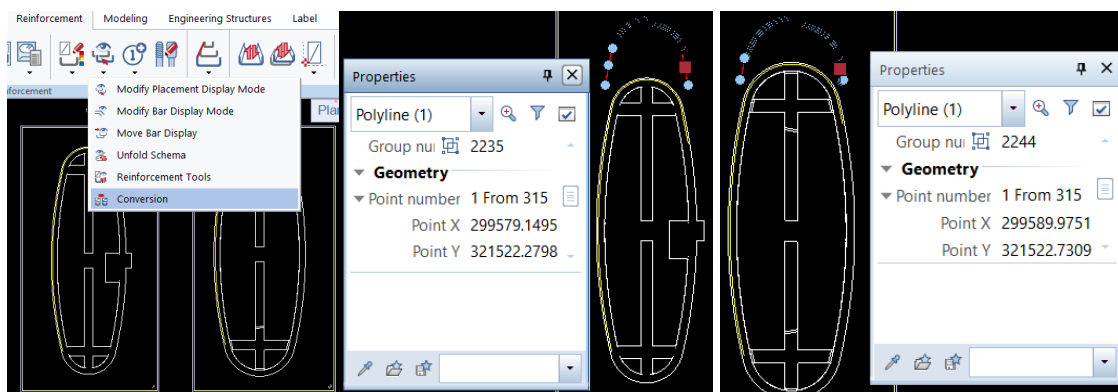


Figura 4-45 – Verificação do número de pontos das barras

As barras N6 e N14 correspondem a estribos de desenvolvimento variável ao longo do fuste, cuja geometria foi obtida através da ferramenta *Bar Shape – Stirrup Closed*, apropriada à modelação de estribos definindo os parâmetros como, o diâmetro, recobrimento e ângulo dos ganchos (Figura 4-46).

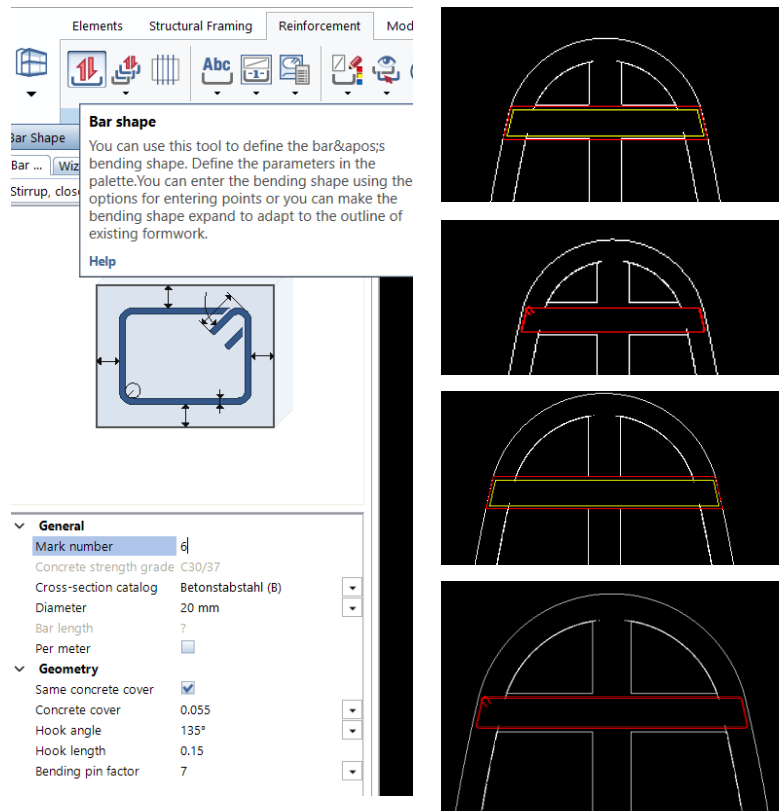


Figura 4-46 – Definição da Geometria das barras N6 e N14

A distribuição das barras N6 e N14 pode ser realizada através de duas abordagens distintas: *Place Bar Shape Along Path*, anteriormente aplicada nas barras N1 e N2 ou *Polygonal Placement*. Para este caso optou-se pela segunda alternativa, para evidenciar a versatilidade do *software*.

O *Polygonal Placement* permite distribuir armaduras ao longo de um polígono definido pelo utilizador, adaptando automaticamente a colocação das barras à geometria real do elemento. A partir de duas barras de referência, o *software* interpola o número total de unidades com base no espaçamento ou quantidade pretendida, assegurando alinhamento, recobrimento e continuidade mesmo em superfícies irregulares ou variáveis.

O procedimento consiste na definição de um corte vertical que permite visualizar a parede em análise para posterior colocação unitária das barras com recurso à opção *Place Bar Shape → Single Placement*. Depois, através do comando *special placements → place in custom polygon*, selecciona-se a segunda barra e a partir da razão entre a altura da parede e o espaçamento previsto, determina-se o número de barras a colocar na parede (Figura 4-47).

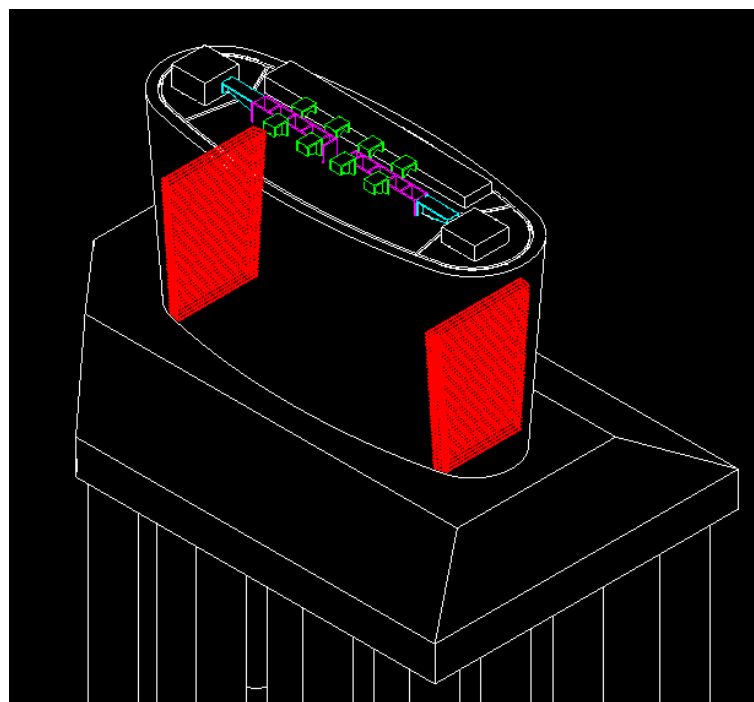
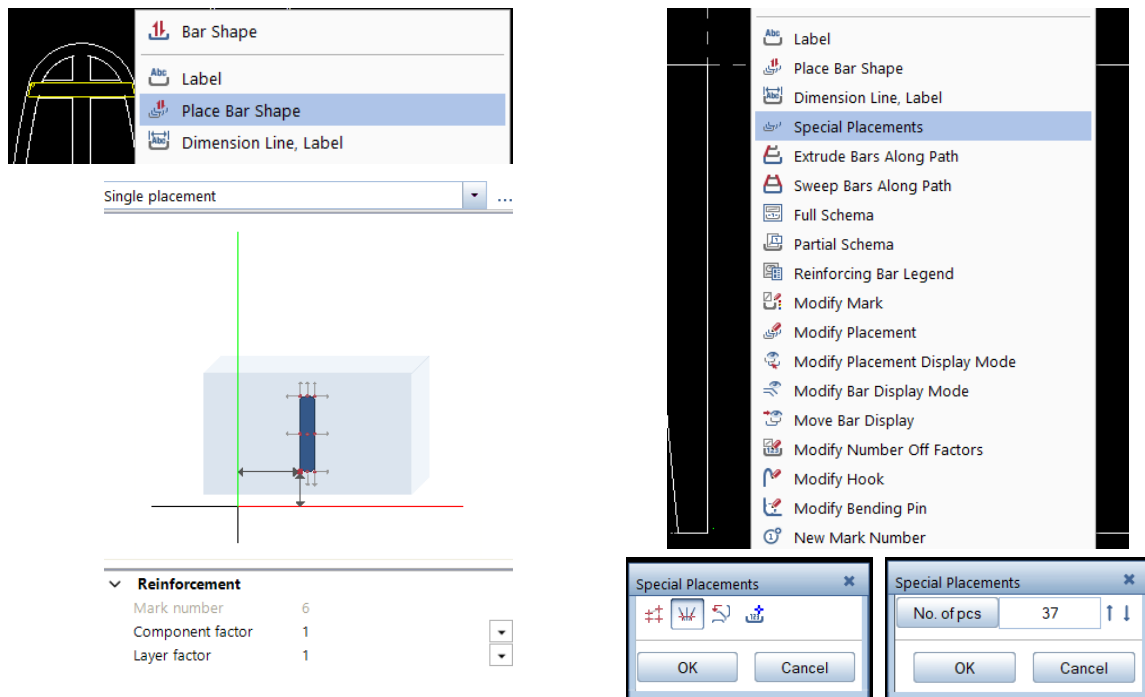


Figura 4-47 – Distribuição e visualização 3D das barras transversais das paredes interiores (N6 e N14)

As barras N17 e N19 correspondem a armaduras variáveis obtidas a partir do corte das barras N15 e N18 respetivamente, recorrendo ao comando *Split Bars*, que permite interromper as barras em pontos específicos do modelo, ajustando o seu comprimento e dobras (*hook*) às descontinuidades geométricas.

A Definição da geometria, foi efetuada com recurso ao *Bar Shape* e a sua distribuição através do *linear placement* (Figura 4-48).

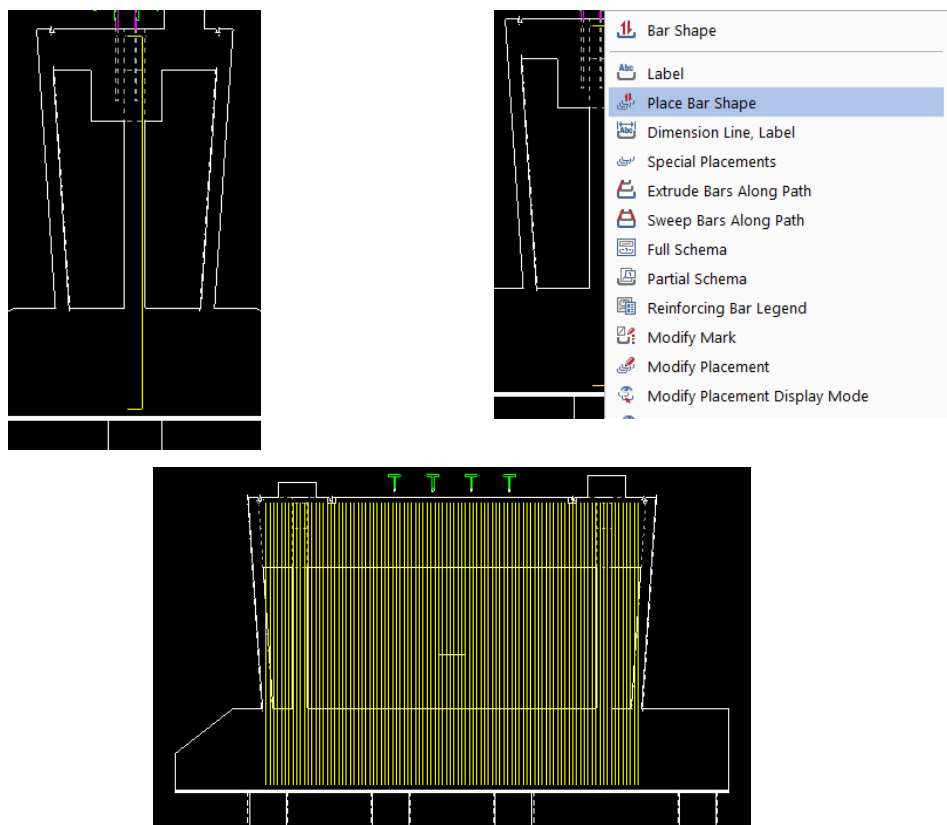


Figura 4-48 – Geometria e distribuição da barra N15

Na Figura 4-49, observa-se que, após a distribuição da barra N15, algumas armaduras não acompanham integralmente a geometria do pilar. Para a sua adaptação foram criadas barras variáveis correspondentes a N17 (Figura 4-50). O procedimento consistiu em selecionar essas barras e, através da ferramenta *Split Bars*, definir uma linha de corte respeitando o recobrimento mínimo. Deste modo, as barras ficam divididas em duas partes, sendo apenas necessário eliminar a parte que não interessa.

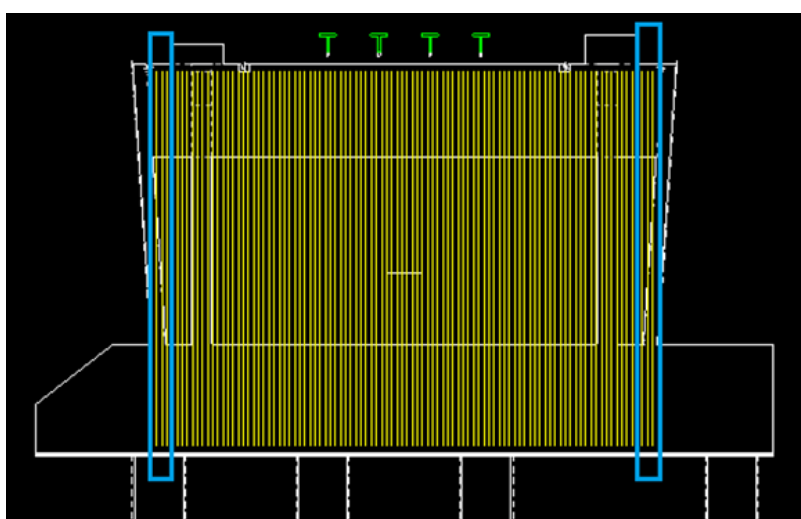


Figura 4-49 – Criação das barras variáveis (N17) com a ferramenta split bar

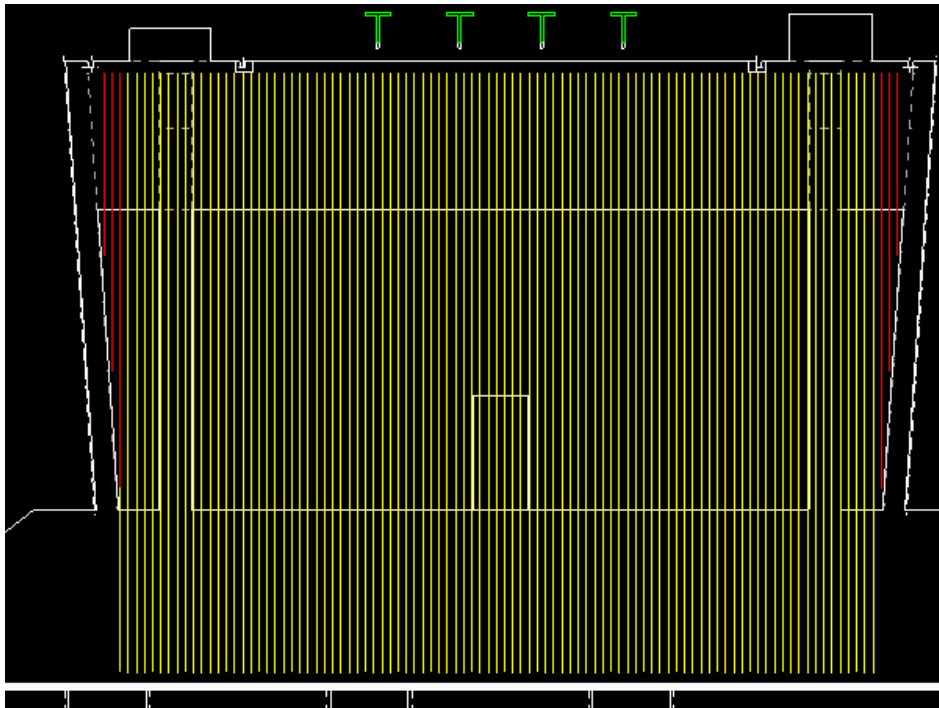
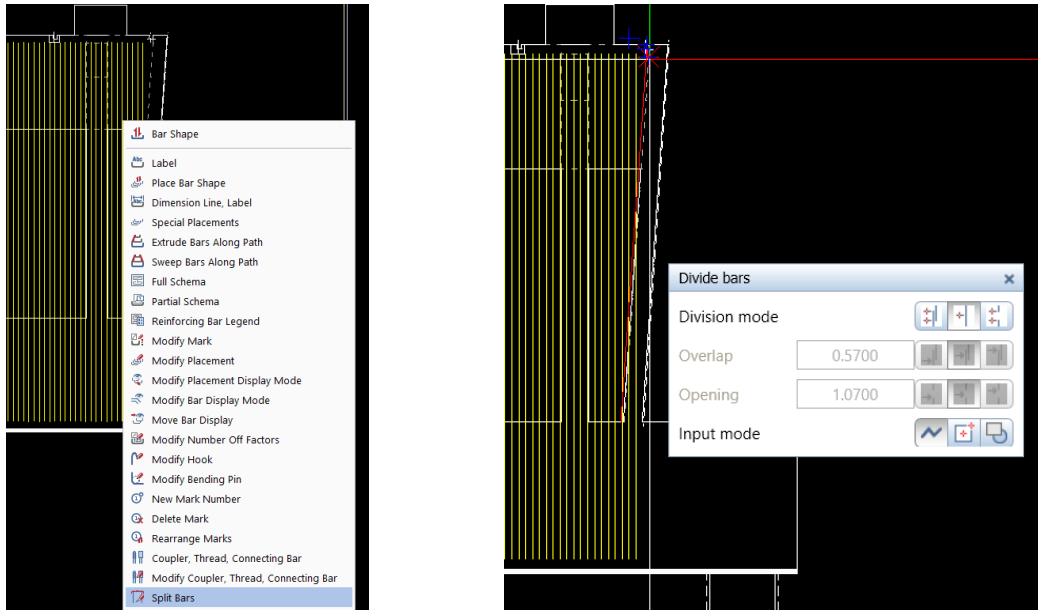


Figura 4-50 – Barras variáveis obtidas (N17) a partir do split bars

A barra N19 foi obtida a partir da barra N18, baseando-se no mesmo pressuposto. A Figura 4- 51 apresenta a visualização tridimensional destas barras, permitindo verificar a sua disposição no pilar.

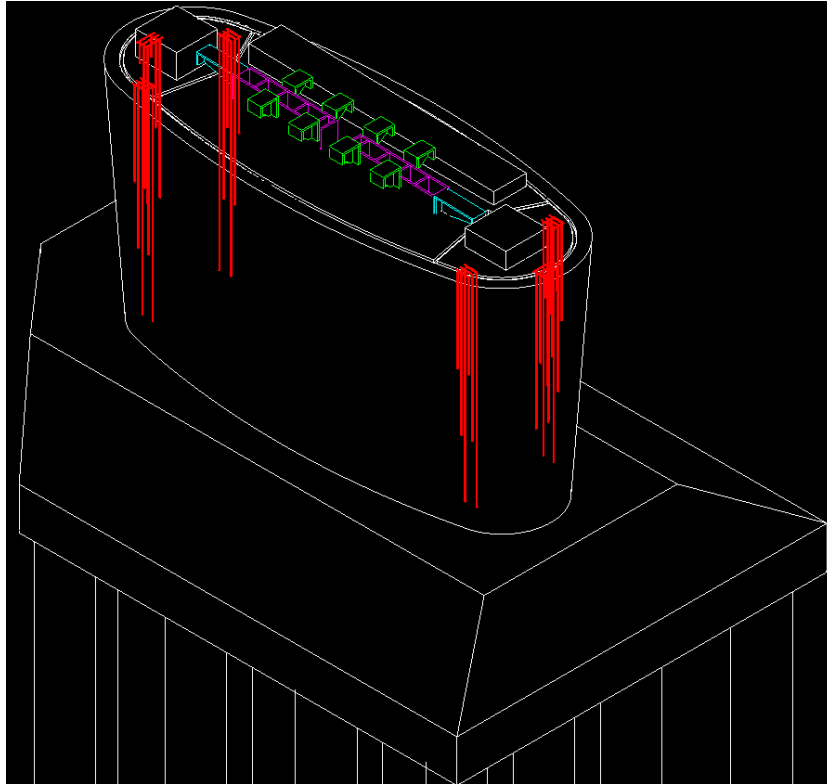


Figura 4-51 – Visualização 3D das barras N17 e N19

Concluída a modelação individual das diferentes armaduras que compõem o pilar, obteve-se a representação integral da sua disposição no modelo BIM (Figura 4-52). Esta visualização tridimensional permite verificar a correta integração de todas as barras e a adaptação à geometria do fuste troncocónico.

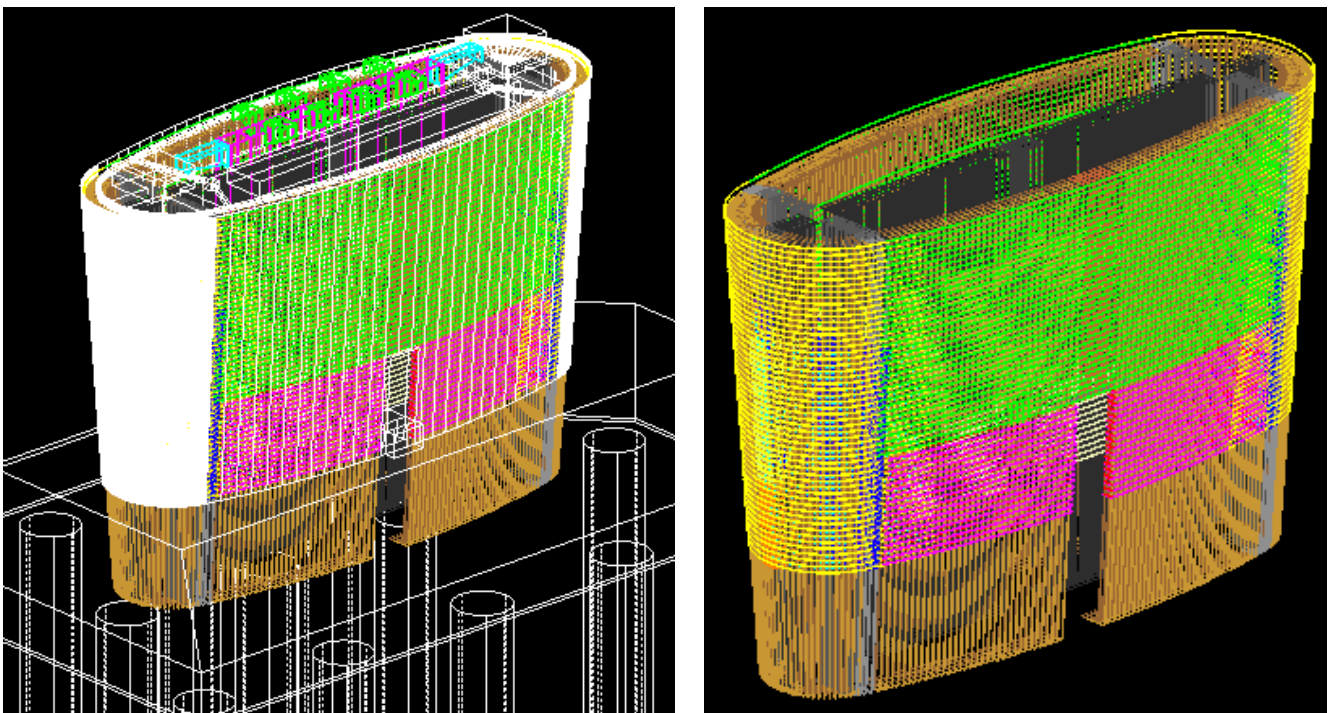


Figura 4-52 – Representação tridimensional das armaduras longitudinais e transversais do pilar PC1

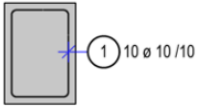
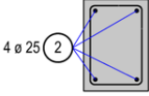
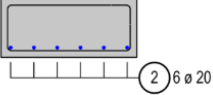
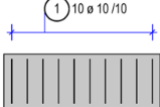
4.6.4 Criação de Etiquetas (*labels*) e Listagem das Armaduras

4.6.4.1 Labels

No *Allplan*, as etiquetas (*labels*) são elementos que associam automaticamente informações paramétricas ao modelo 3D de armaduras. Estas etiquetas podem incluir dados como: número da barra, diâmetro, espaçamento, comprimento e forma.

Segundo, *Allplan* (2025) existem quatro tipos principais de etiquetas de armaduras, apresentadas na Tabela 4-22:

Tabela 4-22 – Tipo de label (adaptado de *Allplan* (2025))

Tipo de etiqueta	Esquema
Etiqueta com seta (label with pointer)	
Etiqueta em leque (label with fan)	
Etiqueta em pente (label with comb)	
Etiqueta com linha de cota (label with dimension line)	

No caso em estudo, foram aplicados os quatro tipos de etiquetas, conforme descrito a seguir:

Para a etiqueta do tipo *label with Pointer*, o procedimento consiste em selecionar a barra pretendida num determinado corte e, através da opção *Label* escolher os parâmetros a representar (número da marca, diâmetro, comprimento, espaçamento, entre outros), garantindo que a informação essencial das armaduras é transmitida de forma precisa e facilmente interpretável no desenho (Figura 4-53).

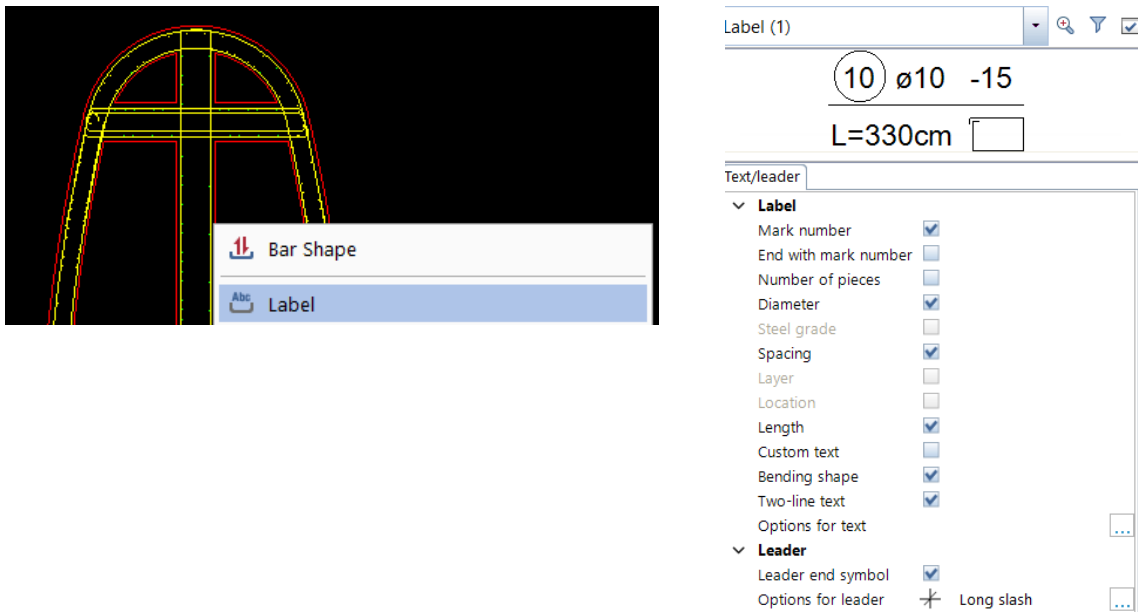


Figura 4-53 – Criação de etiqueta do tipo *Pointer* para identificação de armaduras no *Allplan*

Para a etiqueta em leque, em pente e com linha de cota, seleciona-se a barra pretendida num determinado corte e, através da opção *Dimension Line, Label*, define-se o tipo de etiqueta a aplicar (*fan*, *comb* ou *dimension line*) indicando os parâmetros a representar (Figura 4-54).

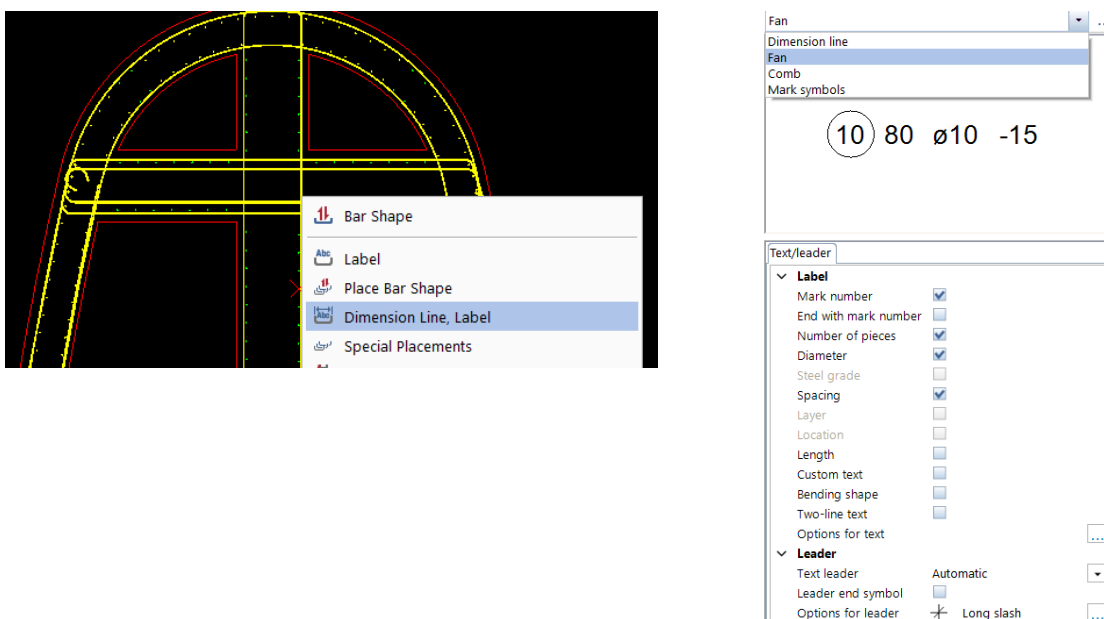


Figura 4-54 – Criação de etiqueta do tipo *fan*, *comb* e *dimension line* para identificação de armaduras no *Allplan*

A etiqueta do tipo *dimension line* é amplamente utilizada em plantas e cortes para representar a forma de distribuição dos varões. Complementarmente, recorre-se ao comando *Modify Placement Display Mode*, que permite simplificar a visualização, ocultando parte das barras representadas, tal como ilustrado na Figura 4-55.

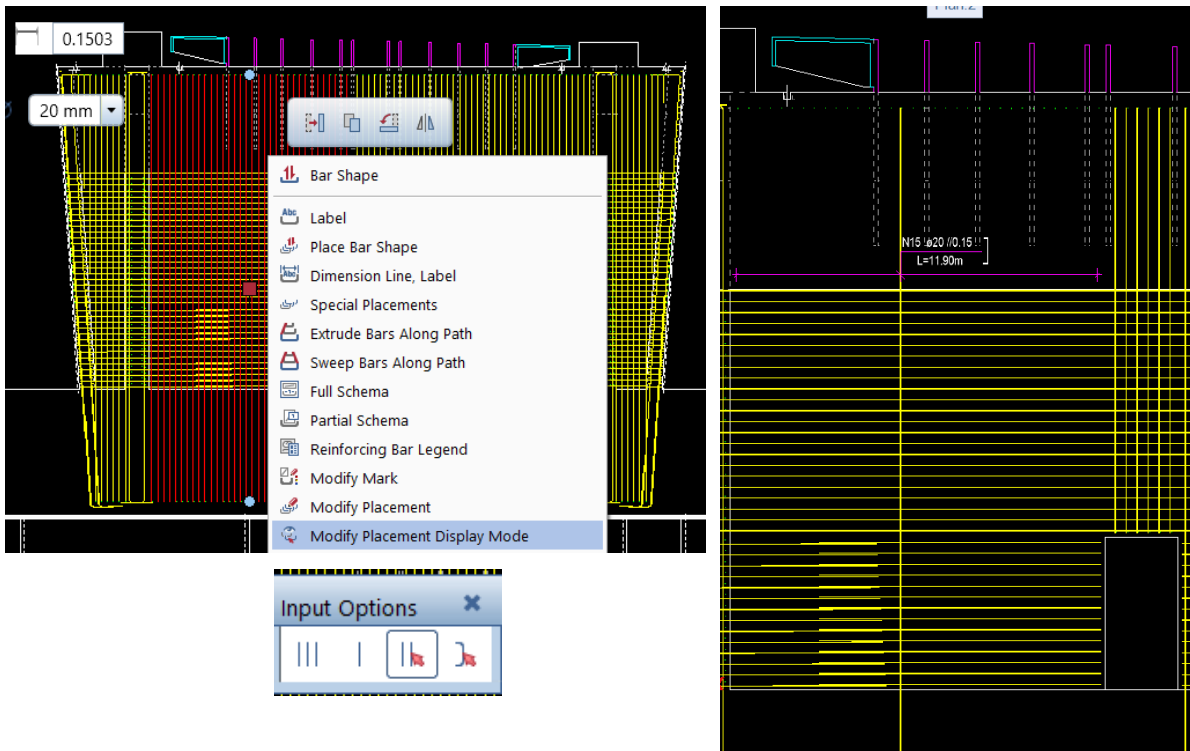


Figura 4-55 – Comando *modify placement display mode* para simplificar a visualização no Allplan

As Figura 4-56 e Figura 4-57 ilustram a aplicação final das etiquetas nas várias secções do pilar PC1, evidenciando a sua utilização sistemática para a identificação das armaduras. Através das diferentes tipologias de etiquetas adotadas (seta, leque, pente e linha de cota), foi possível representar de forma clara e normalizada os diâmetros, comprimentos, espaçamentos e marcas das barras, assegurando a rastreabilidade entre o modelo tridimensional e os desenhos de pormenor. Esta etapa constitui um elo fundamental entre a modelação digital e a documentação técnica necessária à execução em obra.

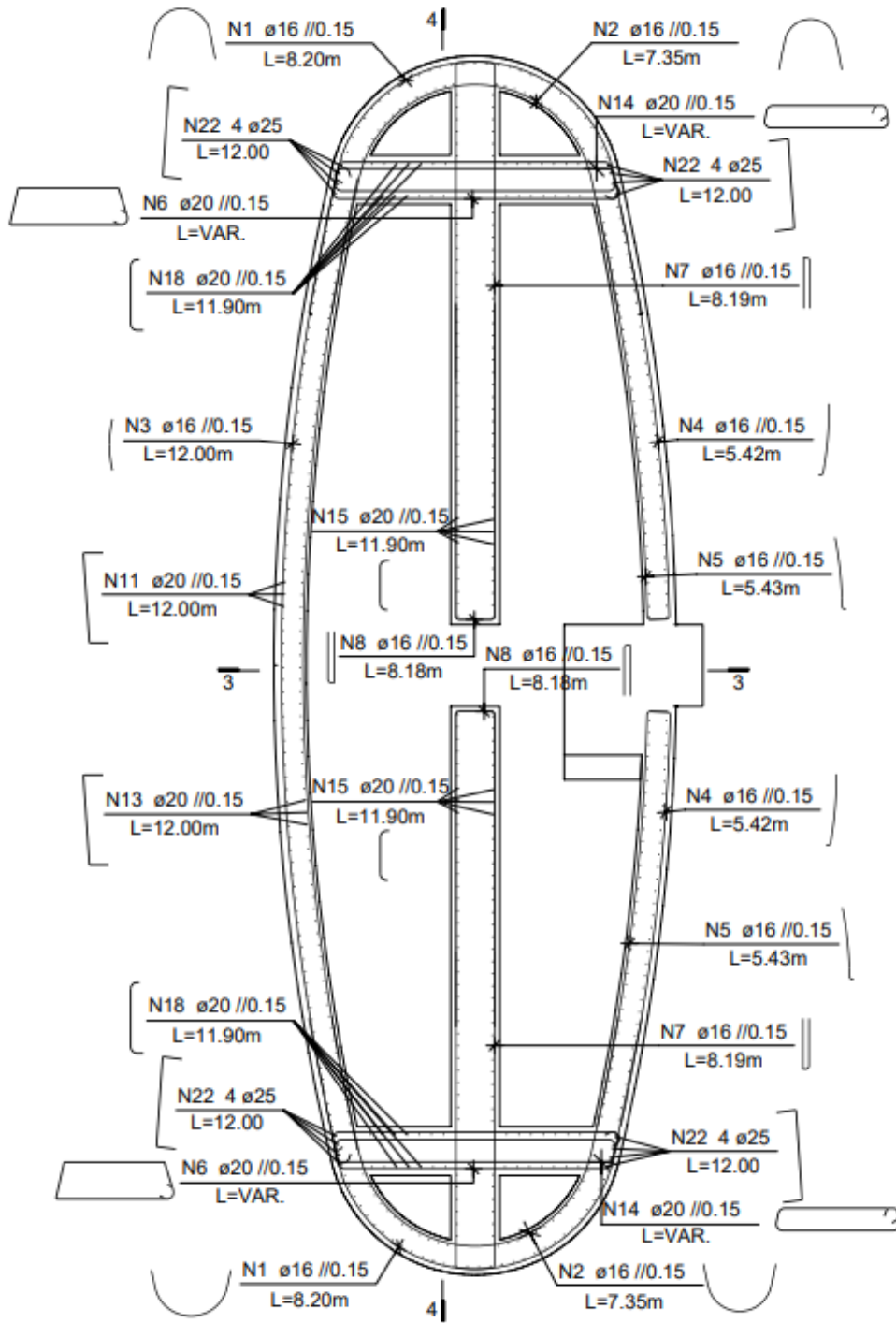


Figura 4-56 – Corte em planta das armaduras do pilar PC1 com etiquetas associadas

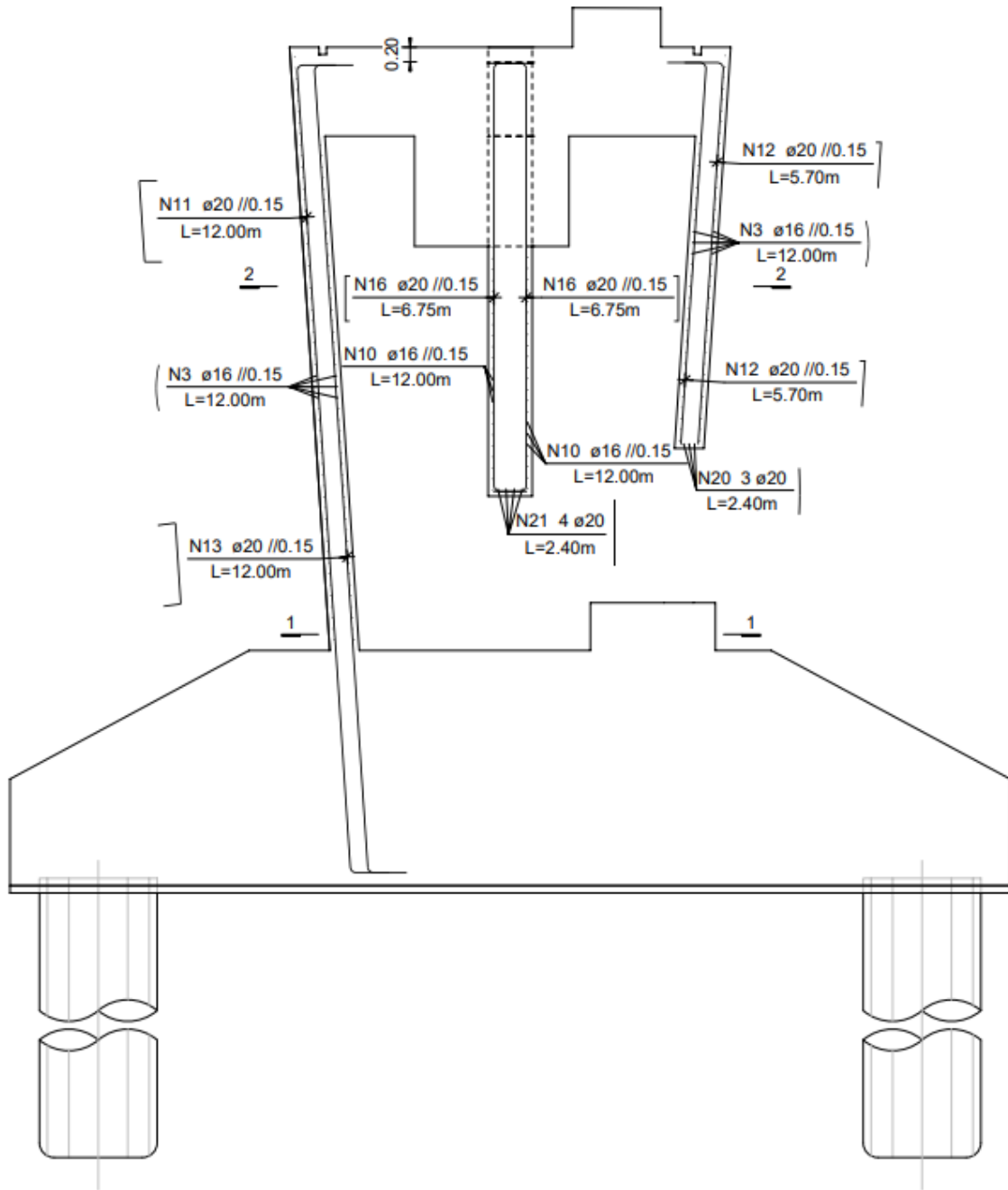


Figura 4-57 – Corte vertical do pilar PC1 com representação das armaduras e etiquetas

4.6.4.2 Listagem das armaduras

As listas de armaduras são instrumentos fundamentais no controlo e gestão das armaduras, permitindo quantificar automaticamente todas as barras usadas (nome, diâmetro, forma, comprimento, quantidade), bem como gerar os dados necessários para corte, dobragem e instalação, o que minimiza erros de transcrição e desperdício de material.

No *Allplan*, a criação de listagens de armaduras é realizada através de objetos definidos pelo utilizador (*User Defined Objects*), nos quais são configuradas as células (*Define Cell*) (Figura 4-58) que determinam o tipo de informação a apresentar. O processo inicia-se com a criação de uma tabela 2D (Figura 4-59), que constitui a base estrutural da lista e possibilita a organização inicial dos dados a serem exibidos. Esta abordagem oferece elevada flexibilidade, permitindo representar os dados sob a forma de atributos, fórmulas ou gráficos, conforme as necessidades de análise e detalhe.

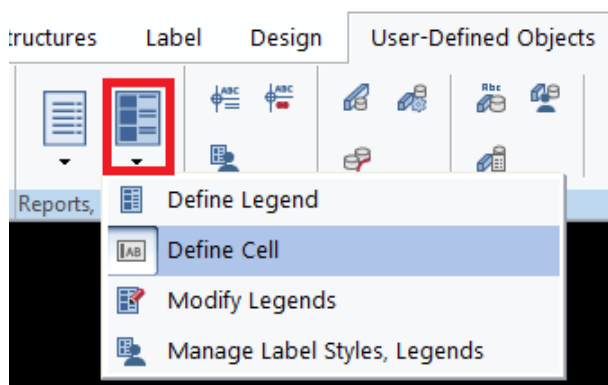
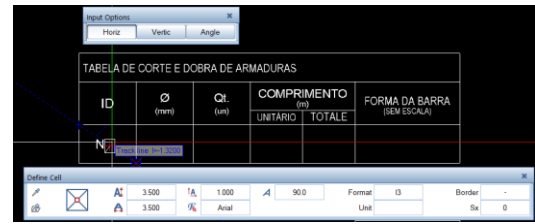
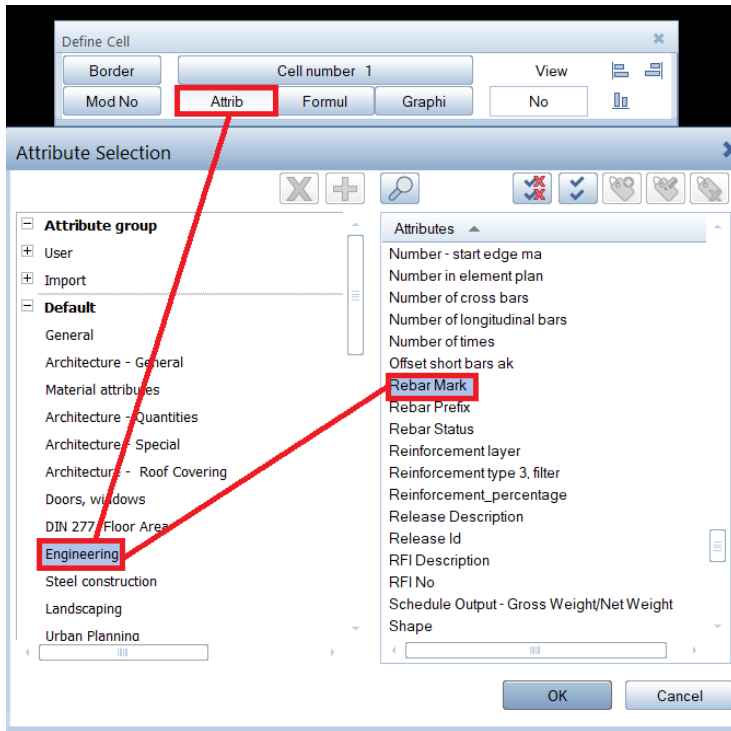


Figura 4-58 – Comando utilizado para criar os dados a apresentar na tabela

TABELA DE CORTE E DOBRA DE ARMADURAS					
ID	Ø (mm)	Qt. (un)	COMPRIMENTO (m)		FORMA DA BARRA (SEM ESCALA)
			UNITÁRIO	TOTALE	
N					

Figura 4-59 – Tabela 2D utilizada para criar a tabela de armaduras

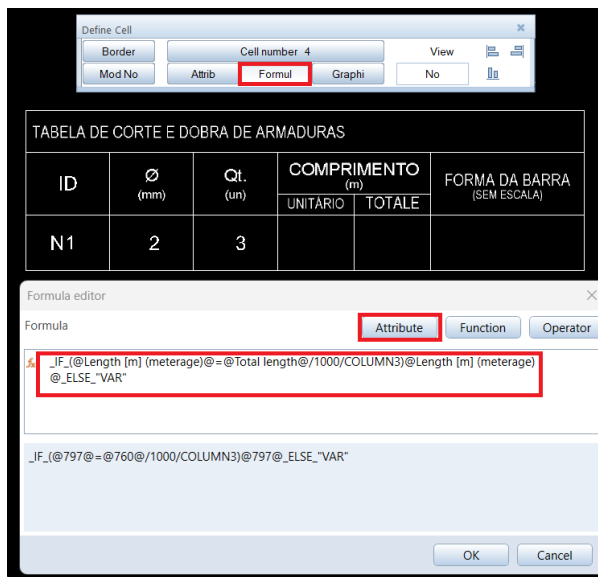
O software integra ainda um conjunto pré-definido de atributos paramétricos (Figura 4-60) como nome da barra, diâmetro, quantidade e comprimento, que podem ser utilizados isoladamente ou combinados através de expressões e fórmulas (Figura 4-61) para gerar resultados específicos (exemplo: somatórios ou cálculos parciais). Adicionalmente, através da opção *Graphics* (Figura 4-62), é possível criar representações esquemáticas das barras, permitindo complementar a informação numérica com ilustrações gráficas.



ID	Ø (mm)	Qt. (un)	COMPRIMENTO (m)		FORMA DA BARRA (SEM ESCALA)
			UNITARIO	TOTALE	
N1					

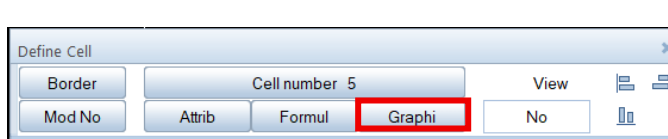
ID	Ø (mm)	Qt. (un)	COMPRIMENTO (m)		FORMA DA BARRA (SEM ESCALA)
			UNITARIO	TOTALE	
N1	2	3			

Figura 4-60 – Definição dos outputs da tabela através de atributos



ID	Ø (mm)	Qt. (un)	COMPRIMENTO (m)		FORMA DA BARRA (SEM ESCALA)
			UNITARIO	TOTALE	
N1	2	3	4	5	

Figura 4-61 – Definição dos outputs da tabela através de fórmulas



ID	Ø (mm)	Qt. (un)	COMPRIMENTO (m)		FORMA DA BARRA (SEM ESCALA)
			UNITARIO	TOTALE	
N1	2	3	4	5	Graphics cell 6

Figura 4-62 – Definição dos outputs da tabela através de gráficos

Após a definição dos atributos, fórmulas ou elementos gráficos a incluir, procede-se à configuração estrutural da tabela, recorrendo ao comando *Define Cell* (Figura 4-63), que permite definir os títulos e as linhas. No separador *Header*, definem-se os títulos das colunas, enquanto no separador *Row* são configuradas as linhas da tabela (Figura 4-64). Após esta configuração, a tabela pode ser guardada através da opção *Lock* (Figura 4-65). Posteriormente, para inserir as tabelas com a informação detalhada das armaduras, recorre-se ao comando *Legends*, acedendo à pasta previamente definida para carregar os ficheiros e gerar a tabela no desenho (Figura 4-66).

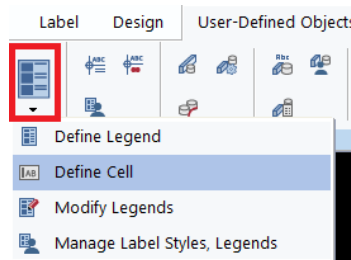


Figura 4-63 – Comando utilizado para criar a tabela

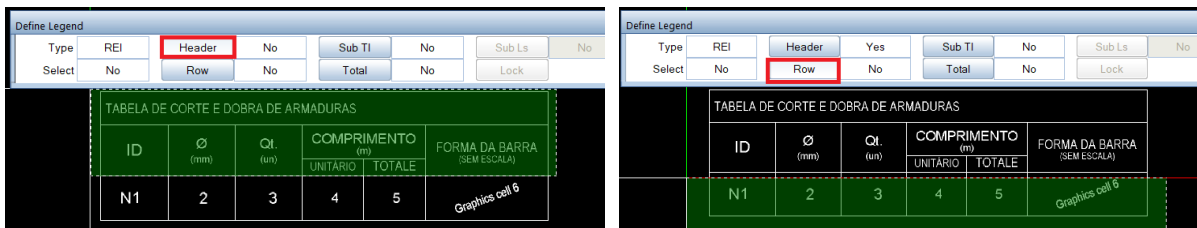


Figura 4-64 – Definição do título e linhas da tabela

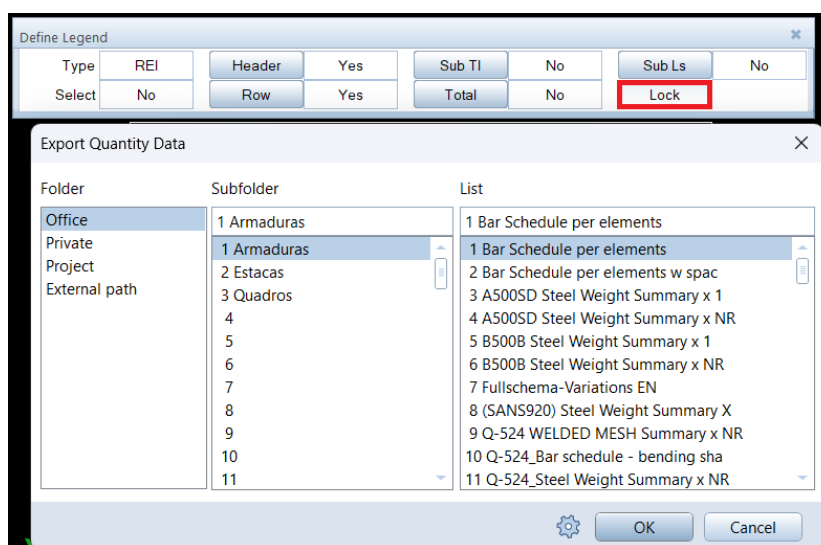


Figura 4-65 – Guardar tabela

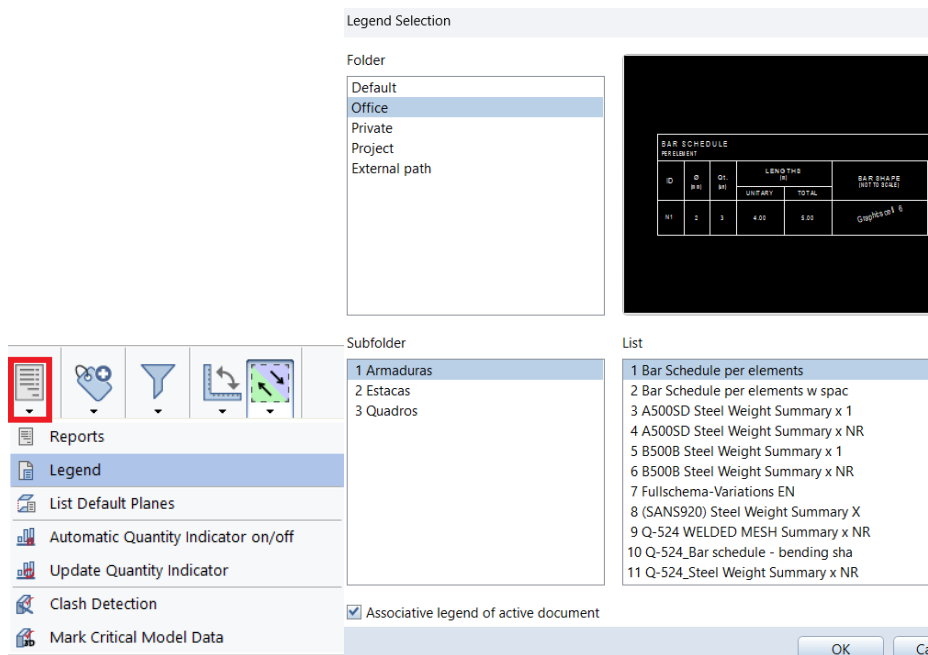


Figura 4-66 – Inserir a tabela de armaduras

A geração automática das tabelas no *Allplan* revelou-se um processo essencial para transformar o modelo digital em informação prática de apoio à obra. Através desta funcionalidade, foi possível obter de forma clara e organizada todos os dados relativos às armaduras (diâmetros, comprimentos, quantidades e pesos), conforme demonstrado na Figura 4-67.

TABLEAU DES BARRES													
PAR ÉLÉMENT													
ID	Ø (mm)	Qt. (un)	LONGUEUR (m)		FORME DE LA BARRE (SANS ÉCHELLE)	PLIAGE TYPE	N12	20	14	5.7	79.80		Type 1
			UNITAIRE	TOTALE									
N1	16	108	8.20	884.52		Type 1	N13	20	197	12	2364.00		Type 1
N2	16	72	7.35	529.92		Type 1	N14	20	72	VAR	606.36		Type 1
N3	16	164	12	1968.00		Type 1	N15	20	160	12	1920.00		Type 1
N4	16	36	5.42	195.12		Type 1	N16	20	12	6.75	81.00		Type 1
N5	16	36	5.43	195.48		Type 1	N17	20	12	VAR	40.76		Type 1
N6	20	72	VAR	627.10		Type 1	N18	20	56	12	672.00		Type 1
N7	16	28	8.19	229.32		Type 1	N19	20	24	VAR	137.20		Type 1
N8	16	28	8.18	229.04		Type 1	N20	20	3	2.4	7.20		Type 1
N9	16	46	5.57	256.22		Type 1	N21	20	4	2.4	9.60		Type 1
N10	16	46	12	552.00		Type 1	N22	25	16	12	191.68		Type 1
N11	20	208	12	2496.00		Type 1							

RÉSUMÉ DU POIS DE L'ACIER			
E500B			
Ø (mm)	LONGUEUR TOTALE (m)	POIDS UNITAIRE (kg/m)	POIDS TOTAL (kg)
16	5039.62	1.580	7962.60
20	9019.42	2.470	22277.97
25	191.68	3.850	737.97
POIDS TOTAL D'UN ÉLÉMENT (kg)			30979
POIDS TOTAL x1 ÉLÉMENTS (kg)			30979

Figura 4-67 – Tabelas automáticas de armaduras

5 CONCLUSÕES

5.1 Principais Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo analisar a aplicação da metodologia BIM na concepção e desenvolvimento de projetos de pontes e viadutos, com enfoque na modelação paramétrica no *Allplan Bridge*, para demonstração dos desafios associados a um viaduto com tabuleiro em vigas betonadas *in situ* e vigas pré-fabricadas, e na representação detalhada de armaduras no *Allplan Engineering*.

Com base no desenvolvimento realizado, é possível destacar as seguintes conclusões:

Os objetivos inicialmente propostos foram alcançados, tendo sido possível não apenas modelar integralmente os elementos do viaduto em estudo, mas também apresentar uma metodologia detalhada para a modelação paramétrica, complementada com a análise e comparação de soluções de tabuleiro em vigas betonadas *in situ* e vigas pré-fabricadas.

A experiência desenvolvida evidenciou que a solução com vigas *in situ* se revelou mais eficiente na fase de modelação, uma vez que estas vigas integram diretamente a secção transversal e são extrudidas ao longo do eixo, acompanhando naturalmente a curvatura em planta e a inclinação da rasante. Por outro lado, a modelação das vigas pré-fabricadas exigiu a definição individual de cada elemento, impondo a necessidade de extrusões independentes para garantir comprimentos uniformes e vigas retas, o que se traduziu num processo mais moroso.

No que diz respeito à modelação de armaduras, o estudo revelou igualmente os benefícios e limitações de diferentes ferramentas disponíveis no Allplan. A definição de armaduras variáveis em elementos de geometria irregular, como o fuste troncocónico do pilar, mostrou-se particularmente desafiante, exigindo o recurso a comandos como *Sweep Along Path*, *Extrude Along Path* e *Polygonal Placement*. Apesar das dificuldades em assegurar recobrimentos mínimos, continuidade de barras e adequação de emendas, estas ferramentas permitiram adaptar com rigor as armaduras às superfícies reais do modelo. A complexidade documental, resultante da elevada densidade de informação, foi mitigada através da utilização de etiquetas automáticas e da geração da listagem de armaduras diretamente a partir do modelo, garantindo consistência entre a representação gráfica e os quantitativos.

Em termos de contributo global, o trabalho evidencia a relevância crescente da digitalização no setor da engenharia civil, demonstrando que a aplicação de metodologias BIM em obras de arte conduz a ganhos significativos em eficiência, precisão e fiabilidade. Com o desenvolvimento de um modelo BIM, a extração de dados como volumes (betão), áreas (cofragens) e quilos de aço (armaduras) torna-se um processo muito mais eficiente e fiável.

Em síntese, este trabalho demonstrou que o BIM não é apenas uma ferramenta de representação tridimensional, mas uma metodologia transversal que potencia a qualidade do projeto e da construção.

5.2 Perspetivas Futuras

Apesar dos resultados alcançados, este trabalho abre espaço a desenvolvimentos adicionais que poderão reforçar a aplicabilidade do BIM em obras de arte:

- Explorar a vertente da análise estrutural integrada no *Allplan Bridge* (nomeadamente em versões mais recentes, como a 2025), comparando os resultados obtidos com softwares de cálculo convencionais e avaliando a eficácia da abordagem BIM enquanto modelo único de conceção, verificação e documentação;
- Relativamente à modelação de armaduras, uma linha de continuidade interessante consistiria em explorar as funcionalidades introduzidas no *Allplan* 2025, comparando-as com os processos aplicados na versão 2024, dado que o *software* se encontra em crescente evolução.
- Incorporar dimensões adicionais do BIM — como o 4D (planeamento), 5D (custos), 6D (sustentabilidade) e 7D (operação e manutenção) — para abranger todo o ciclo de vida da infraestrutura, desde a conceção até à manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allplan. (2020, 17 de janeiro). *60 Seconds to learn More About Reinforced Concrete Modeling*. <https://www.allplan.com/blog/60-seconds-to-learn-more-about-reinforced-concrete-modeling/>

Allplan. (2021, 2 de abril). *Solving Complex Reinforcement Challenges*. <https://www.allplan.com/blog/solving-complex-reinforcement-challenges/>

Allplan. (2022, 26 de outubro). *An Innovative Mindset in Porto*. <https://www.allplan.com/blog/an-innovative-mindset-in-porto/>

Allplan. (2023, 21 de março). *How Quadrante is Revolutionizing Bridge Design on a Rail Line Project in Nigeria*. <https://www.allplan.com/blog/how-quadrante-is-revolutionizing-bridge-design-on-a-rail-line-project-in-nigeria/>

Allplan. (2025). *Reinforcement Placement: Python API documentation*. <https://pythonparts.allplan.com/2025/manual/features/reinforcement/placement/>

Allplan GmbH. (2022). *Drawing file status*. <https://help.allplan.com/Allplan/2022-1/1033/Allplan/index.htm#5724.htm>

Allplan GmbH. (2025). *The Allplan Bridge Workflow*. <https://www.allplan.com/workflows/bridge-workflow/>

Araújo, M. F. (2022). *Contributos da Metodologia Building Information Modeling na Gestão de Pontes Ferroviárias Metálicas. Um Caso de Estudo*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. Repositório Aberto da Universidade do Minho. <https://hdl.handle.net/1822/81498>

CEN. (2009). *EN 1990 Eurocode: Basis of structural design*. European Committee for Standardization.

CEN. (2009). *EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1: General actions*. European Committee for Standardization.

CEN. (2017). *EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*. European Committee for Standardization.

CEN. (2010). *EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings; Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules*. European Committee for Standardization.

CEN. (2018). *EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules*. European Committee for Standardization.

CEN. (2010). *EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization.

CEN. (2022). *EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2: Steel bridges*. European Committee for Standardization.

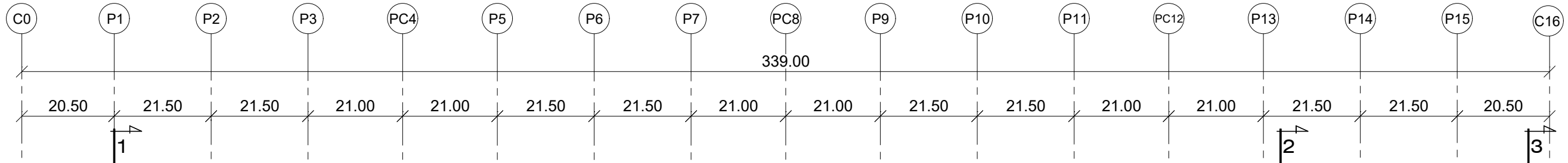
CEN. (2022). *EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Composite bridges*. European Committee for Standardization.

- CEN. (2010). *EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules*. European Committee for Standardization.
- CEN. (2023). *EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges*. European Committee for Standardization.
- CEN. (2010). *EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. European Committee for Standardization.
- Dang, N.-S., Rho, G.-T., & Shim, C.-S. (2020). *A Master Digital Model for Suspension Bridges*. *Applied Sciences*, 10(21), Artigo 7666. <https://doi.org/10.3390/app10217666>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Gomes, C. A. (2015). *Guia de Implementação BIM em Organizações e Projetos*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto]. Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto. <http://hdl.handle.net/10400.22/8030>
- Johansen, J. (2013). *BIM in Bridge Design*. [Dissertação de mestrado, Norwegian University of Science and Technology]. NTNU Open. <http://hdl.handle.net/11250/237185>
- Lopes, F. A. P. (2018). *Desenvolvimento de um Projeto de Estruturas de um Edifício com Recurso ao BIM* [Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal]. Comum: Repositório do Instituto Politécnico de Setúbal. <http://hdl.handle.net/10400.26/31044>
- Mira, J. C. S. (2014). *Projetos de Obras de Arte Correntes Pré-Fabricadas, Passagem Superior de 2 Vãos*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. Repositório Científico do Instituto Politécnico de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10400.21/4392>
- Oliveira, R. L. (2022). *Modelos Digitais de Ponte Ferroviárias: Tecnologias de Reality Capture e Modelação BIM*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto]. Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto. <http://hdl.handle.net/10400.22/22630>
- Ribeiro, B. D. A. B. (2015). *Aplicação de Metodologias BIM no Contexto da Construção da Nova Ponte Sobre o Rio Dão*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. Repositório Aberto da Universidade do Minho. <https://hdl.handle.net/1822/40638>
- Serra, P., Soares, P., Pinho, J., Costa, C., & Mateus, G. (2022). *Implementação da Metodologia BIM no Projeto de Obras de Arte*. [Comunicação em congresso]. 10.º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Portugal. https://10crp.crp.pt/wp-content/uploads/2022/07/paper_45.pdf
- Vitório, A. (2002). *Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão* (1. Ed.). Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco (CREA-PE).
- Zigurat. (2022, 23 de fevereiro). *BIM nas ferrovias: O que falta para o Brasil?* Zigurat Global Institute of Technology. <https://www.e-zigurat.com/pt-br/blog/bim-nas-ferrovias-o-que-falta-para-o-brasil/>

ANEXO I – SOBRELEVAÇÕES DO TABULEIRO – PROJETO VIÁRIO

Vue en plan - Répartition des devers

Ech : 1/1000^{ème}



	Pk 319+ 220.53		Pk 319+ 274.86						Pk 319+ 499.86			Pk 319+ 559.53	
Distances (m)		54.33		45.00		45.00		45.00		45.00		55.00	4.67
Dist. cumulées (m)	0.00		54.33		99.33		144.33		189.33		234.33		334.33 339.00
Devers rails (mm)	125.00		125.00		100.00		75.00		50.00		25.00		0.00 -25.00 -35.27
Devers hourdis - V1 (Est)	-2.50%		-2.50%		-2.50%		-2.50%		-2.50%		-2.50%		-1.25% -1.14%
Devers hourdis - V2 (Ouest)	+2.50%		+2.50%		+2.50%		+1.25%		0.00%		-1.25%		-2.50% -2.50%
Tracé en plan	ARC / L = 2351.796m / R = 6800.000m				CLOTHOÏDE / L = 225.000m / A = 1236.932m						CLOTHOÏDE / L = 275.000m / A = 1236.527m		
Déclivité géométrique													

		ECHELLE	FORMAT	PAGE
		1/1000	A3	

ANEXO II – PEÇAS DESENHADAS – CASO ESTUDO 1

TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton	Classe de Béton Armé	Classe de Béton Précontraint	Classe de Béton Préfabriqué	Classe de Béton Armé Préfabriqué	Classe de Béton Armé Préfabriqué
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre : FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron : F1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARDÉS-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis : Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIFICITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR, TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.

- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.

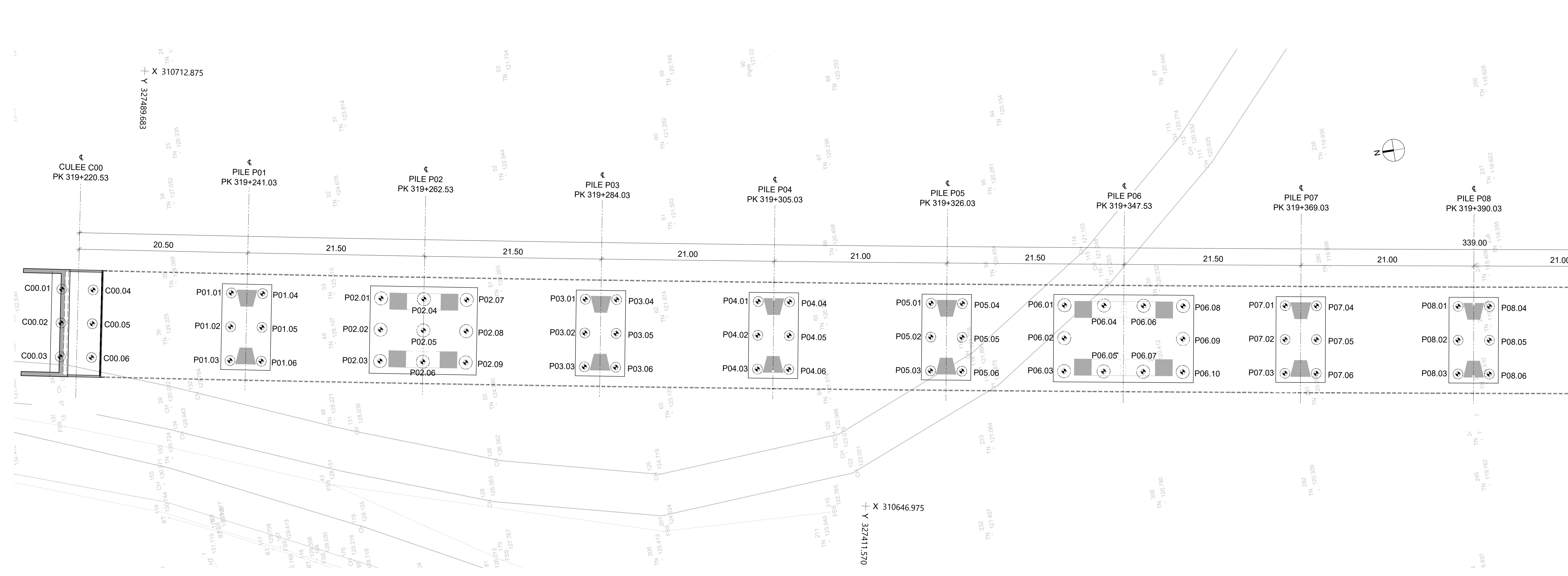
- LES MESURES, COTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.

- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.

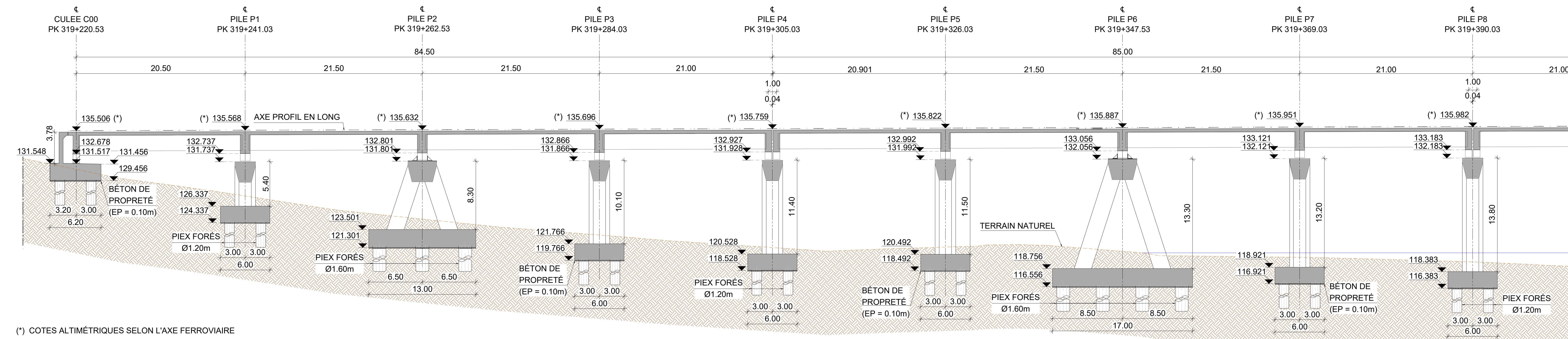
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.

COORDONNÉES

POINTS	TYPE	X	Y
C00.01	PIEUX	310688.326	327503.803
C00.02	PIEUX	310684.293	327504.543
C00.03	PIEUX	310690.261	327505.284
C00.04	PIEUX	310687.639	327500.065
C00.05	PIEUX	310683.607	327500.806
C00.06	PIEUX	310679.574	327501.547
C16.01	PIEUX	310632.876	327169.273
C16.02	PIEUX	310628.827	327169.919
C16.03	PIEUX	310624.778	327170.565
C16.04	PIEUX	310632.277	327165.520
C16.05	PIEUX	310628.228	327166.167
C16.06	PIEUX	310624.179	327166.813
P01.01	PIEUX	310694.632	327483.549
P01.02	PIEUX	310690.597	327484.278
P01.03	PIEUX	310676.562	327485.006
P01.04	PIEUX	310683.956	327479.810
P01.05	PIEUX	310679.922	327480.538
P01.06	PIEUX	310675.887	327481.267
P02.01	PIEUX	310681.122	327465.701
P02.02	PIEUX	310677.380	327466.364
P02.03	PIEUX	310673.639	327467.028
P02.04	PIEUX	310680.214	327460.581
P02.05	PIEUX	310676.473	327461.244
P02.06	PIEUX	310672.731	327461.908
P02.07	PIEUX	310679.306	327455.461
P02.08	PIEUX	310675.565	327456.124
P02.09	PIEUX	310671.823	327456.787
P03.01	PIEUX	310677.118	327441.237
P03.02	PIEUX	310673.079	327441.940
P03.03	PIEUX	310669.039	327442.643
P03.04	PIEUX	310676.466	327437.494
P03.05	PIEUX	310672.427	327438.197
P03.06	PIEUX	310668.388	327438.900
P04.01	PIEUX	310673.543	327420.555
P04.02	PIEUX	310669.502	327421.247
P04.03	PIEUX	310665.461	327421.939
P04.04	PIEUX	310672.902	327416.810
P04.05	PIEUX	310668.861	327417.502
P04.06	PIEUX	310664.820	327418.193
P05.01	PIEUX	310670.024	327399.863
P05.02	PIEUX	310665.981	327400.544
P05.03	PIEUX	310661.938	327401.226
P05.04	PIEUX	310669.392	327396.116
P05.05	PIEUX	310665.349	327396.797
P05.06	PIEUX	310661.306	327397.479
P06.01	PIEUX	310667.243	327383.912
P06.02	PIEUX	310663.297	327384.568
P06.03	PIEUX	310659.351	327385.224
P06.04	PIEUX	310664.456	327379.177
P06.05	PIEUX	310658.564	327380.489
P06.06	PIEUX	310665.669	327374.442
P06.07	PIEUX	310667.777	327375.754
P06.08	PIEUX	310664.882	327369.707
P06.09	PIEUX	310660.936	327370.363
P06.10	PIEUX	310656.990	327371.019
P07.01	PIEUX	310662.967	327357.464
P07.02	PIEUX	310658.921	327358.128
P07.03	PIEUX	310654.875	327358.792
P07.04	PIEUX	310662.351	327353.714
P07.05	PIEUX	310658.305	327354.378
P07.06	PIEUX	310654.260	327355.042



PLAN DE FONDATION
ÉCHELLE 1:200 (A0)



(*) COTES ALTIMÉTRIQUES SELON L'AXE FERROVIAIRE
COUPE LONGITUDINALE
ÉCHELLE 1:200 (A0)

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

ÉCHELLE :
INDIQUÉES
DATE :

TABLEAU DES MATÉRIEAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA.2	70	Cl 0.40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA.2	50	Cl 0.40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0.40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0.40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0.20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0.20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0.20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: T1860 S7 (fyk=15.7 mm (TBR))					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARGES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR, TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.

- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.

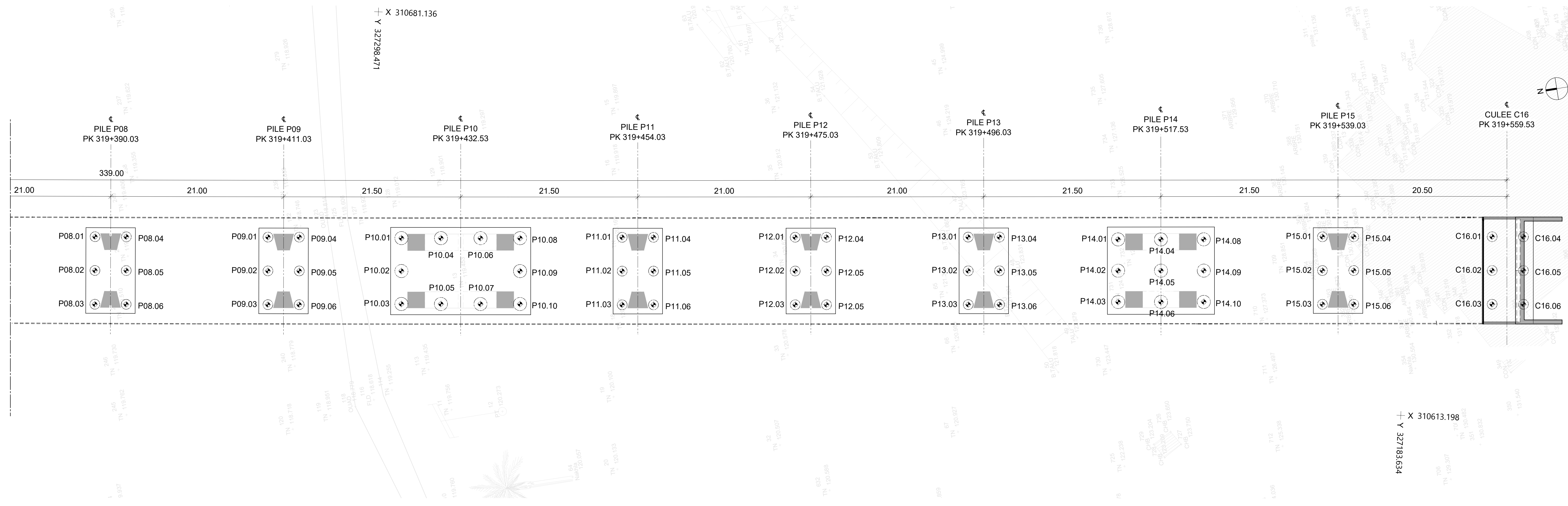
- LES MESURES, COTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.

- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.

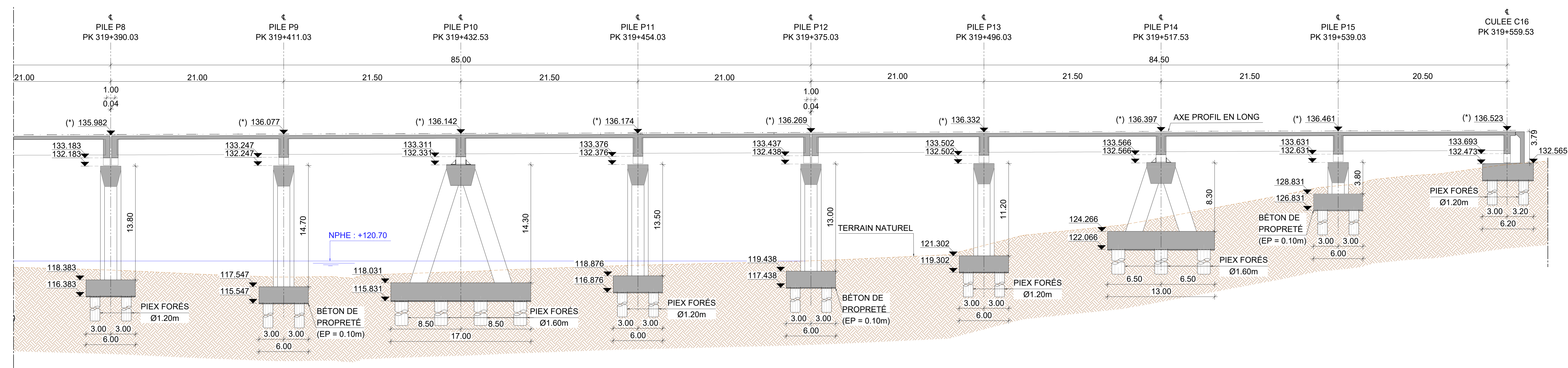
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.

COORDONNÉES

POINTS	TYPE	X	Y
P08.01	PIEUX	310659.581	327336.745
P08.02	PIEUX	310655.534	327337.403
P08.03	PIEUX	310651.487	327338.060
P08.04	PIEUX	310658.971	327332.995
P08.05	PIEUX	310654.924	327333.652
P08.06	PIEUX	310650.878	327334.310
P09.01	PIEUX	310656.226	327316.021
P09.02	PIEUX	310652.178	327316.673
P09.03	PIEUX	310648.131	327317.325
P09.04	PIEUX	310655.622	327312.269
P09.05	PIEUX	310651.574	327312.921
P09.06	PIEUX	310647.526	327313.573
P10.01	PIEUX	310653.557	327300.046
P10.02	PIEUX	310649.507	327300.678
P10.03	PIEUX	310645.457	327301.310
P10.04	PIEUX	310652.799	327295.307
P10.05	PIEUX	310644.899	327296.570
P10.06	PIEUX	310652.041	327290.567
P10.07	PIEUX	310644.141	327291.830
P10.08	PIEUX	310651.282	327285.827
P10.09	PIEUX	310647.333	327286.459
P10.10	PIEUX	310643.383	327287.091
P11.01	PIEUX	310649.431	327273.569
P11.02	PIEUX	310645.382	327274.213
P11.03	PIEUX	310641.333	327274.858
P11.04	PIEUX	310648.834	327269.816
P11.05	PIEUX	310644.785	327270.460
P11.06	PIEUX	310640.736	327271.105
P12.01	PIEUX	310646.136	327252.831
P12.02	PIEUX	310642.087	327253.473
P12.03	PIEUX	310638.037	327254.116
P12.04	PIEUX	310645.541	327249.078
P12.05	PIEUX	310637.442	327250.363
P12.06	PIEUX	310641.491	327249.720
P13.01	PIEUX	310642.848	327232.091
P13.02	PIEUX	310638.799	327232.732
P13.03	PIEUX	310634.749	327233.374
P13.04	PIEUX	310642.254	327228.338
P13.05	PIEUX	310638.204	327228.979
P13.06	PIEUX	310634.155	327229.621
P14.01	PIEUX	310639.704	327214.162
P14.02	PIEUX	310635.651	327214.757
P14.03	PIEUX	310632.198	327215.352
P14.04	PIEUX	310638.890	327209.026
P14.05	PIEUX	310635.137	327209.621
P14.06	PIEUX	310631.384	327210.216
P14.08	PIEUX	310638.076	327203.890
P14.09	PIEUX	310634.323	327204.485
P14.10	PIEUX	310630.570	327205.080
P15.01	PIEUX	310636.114	327189.619
P15.02	PIEUX	310632.065	327190.263
P15.03	PIEUX	310628.016	327190.906
P15.04	PIEUX	310635.518	327185.866
P15.05	PIEUX	310631.469	327186.510
P15.06	PIEUX	310627.420	327187.154
C16.01	PIEUX	310632.876	327169.273
C16.02	PIEUX	310628.827	327169.919
C16.03	PIEUX	310624.778	327170.565
C16.04	PIEUX	310632.277	327165.520
C16.05	PIEUX	310628.228	327166.167
C16.06	PIEUX	310624.179	327166.813



PLAN DE FONDATION
ECHELLE 1:200 (A0)



(*) COTES ALTIMÉTRIQUES SELON L'AXE FERROVIAIRE
COUPE LONGITUDINALE
ECHELLE 1:200 (A0)

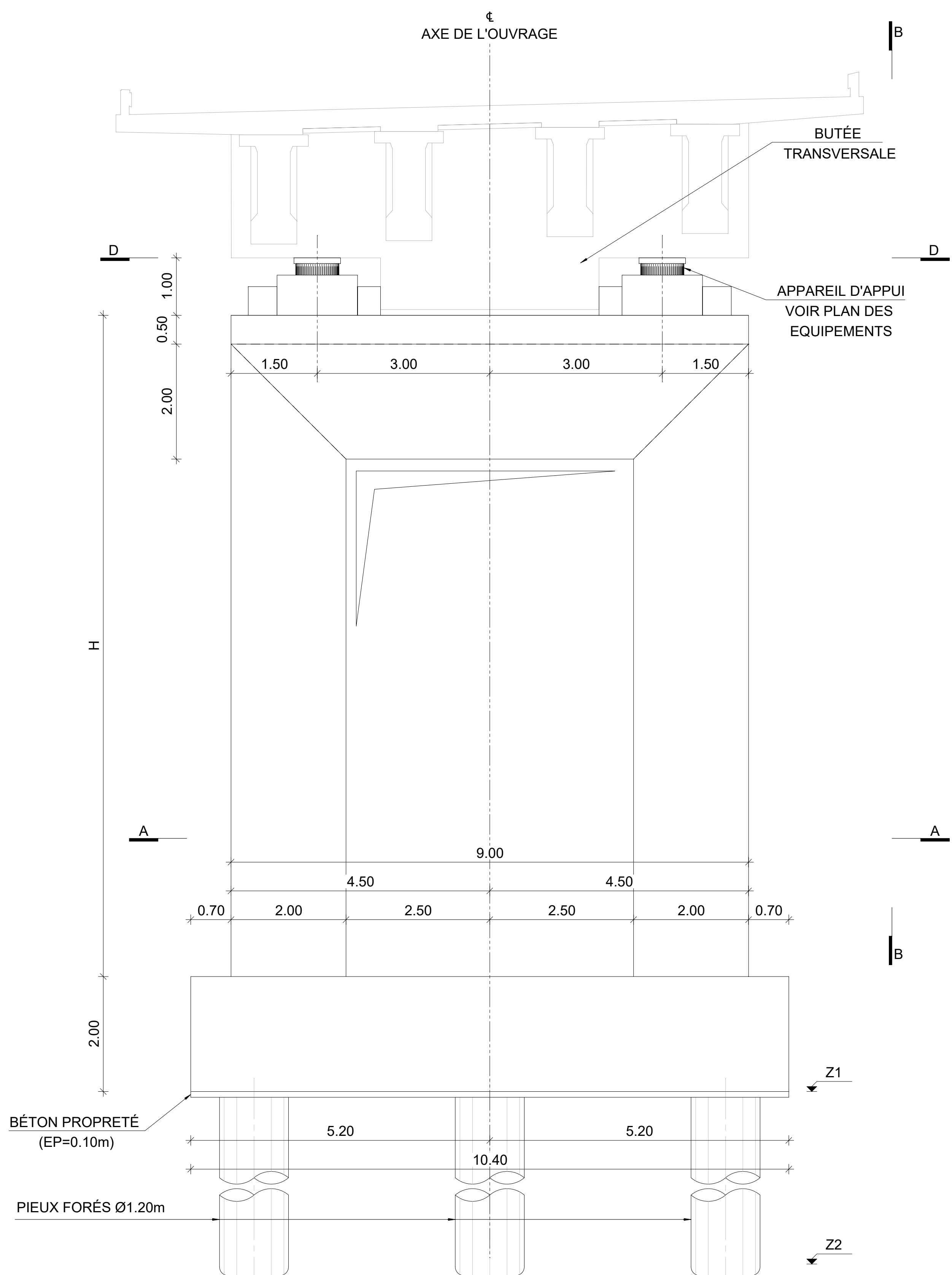
Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

ECHELLE :
INDIQUEES
DATE :

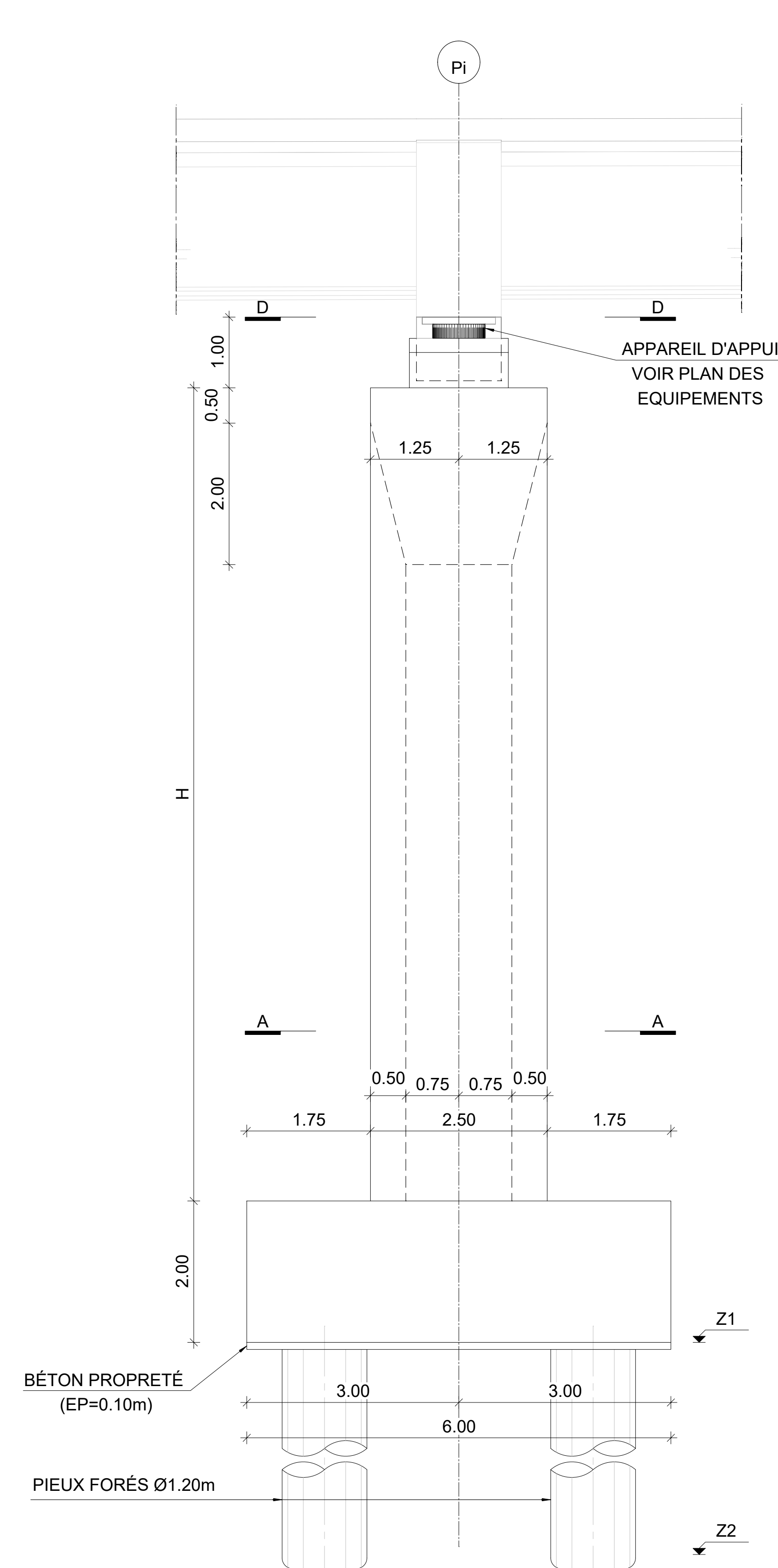
TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Endosse Norme (Norme NF EN 12601)	Norme Normes et Classes	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: Y1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT	(GARDÉS-CORPS)ACIER POUR					
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

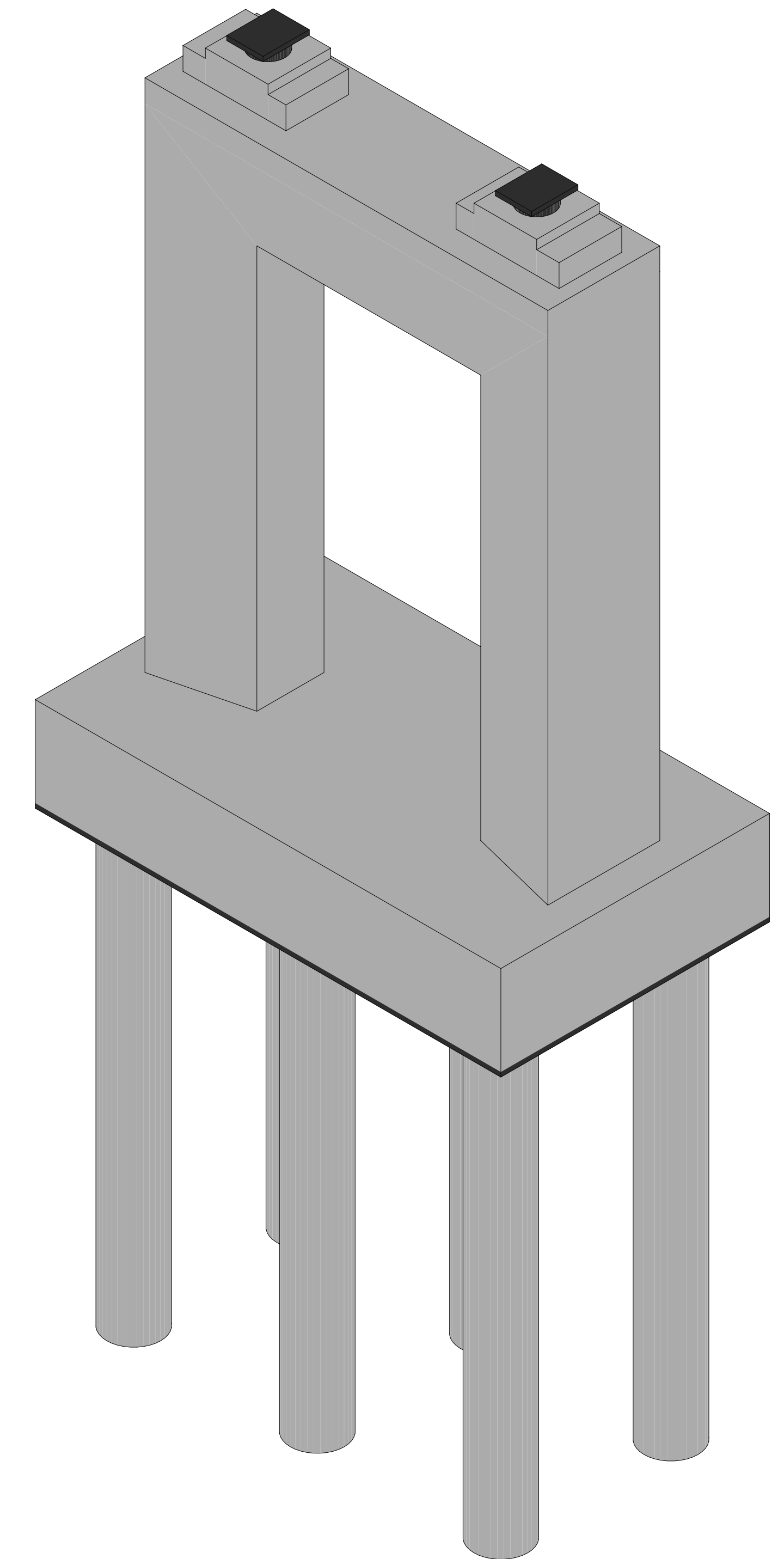
- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR. TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.
- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.
- LES MESURES, CÔTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.
- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMINEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.



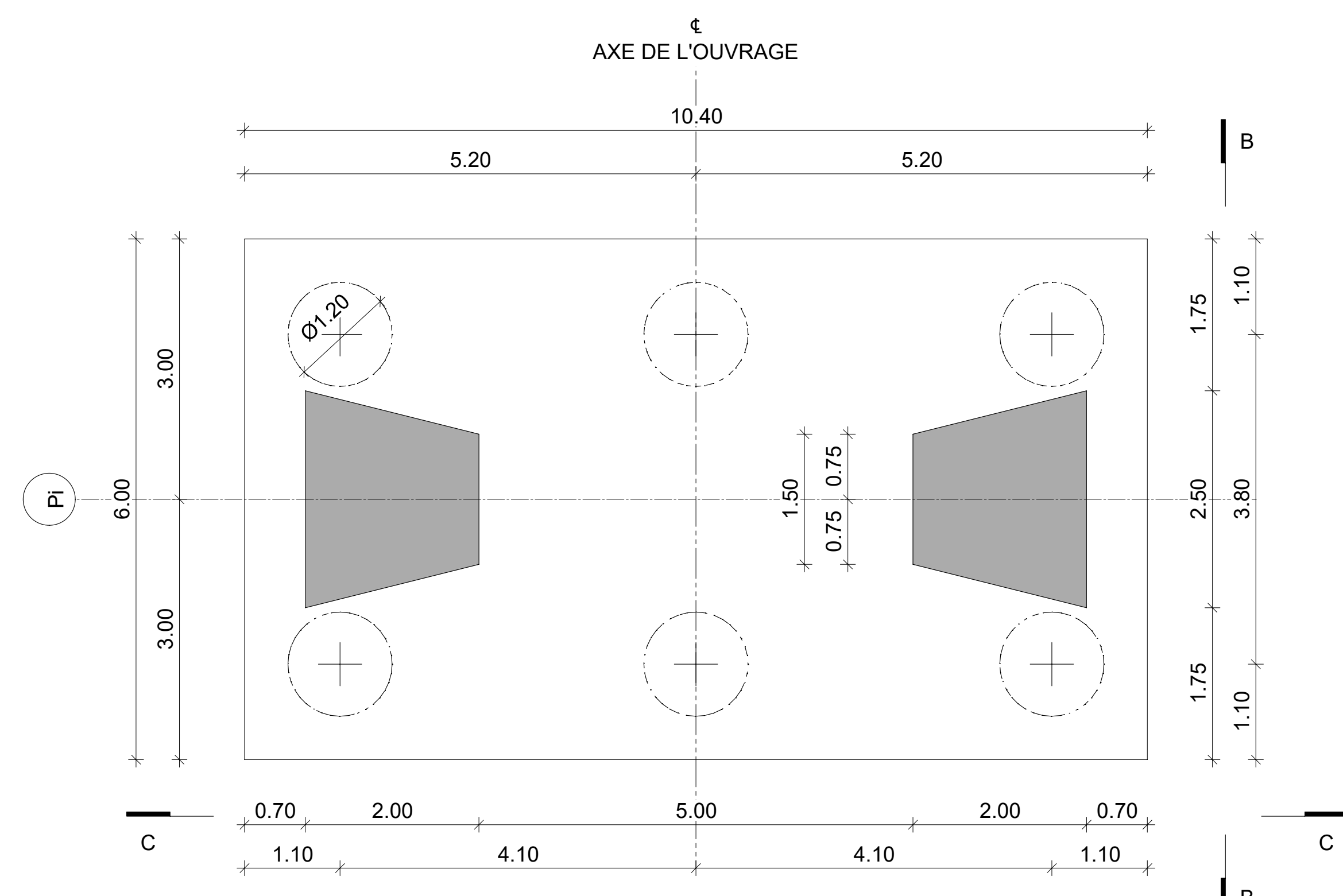
PILES COURANTES (P01, P03, P05, P07, P09, P11, P13 ET P15)
ÉLÉVATION COUPÉ C-C
ÉCHELLE 1:50 (A0)



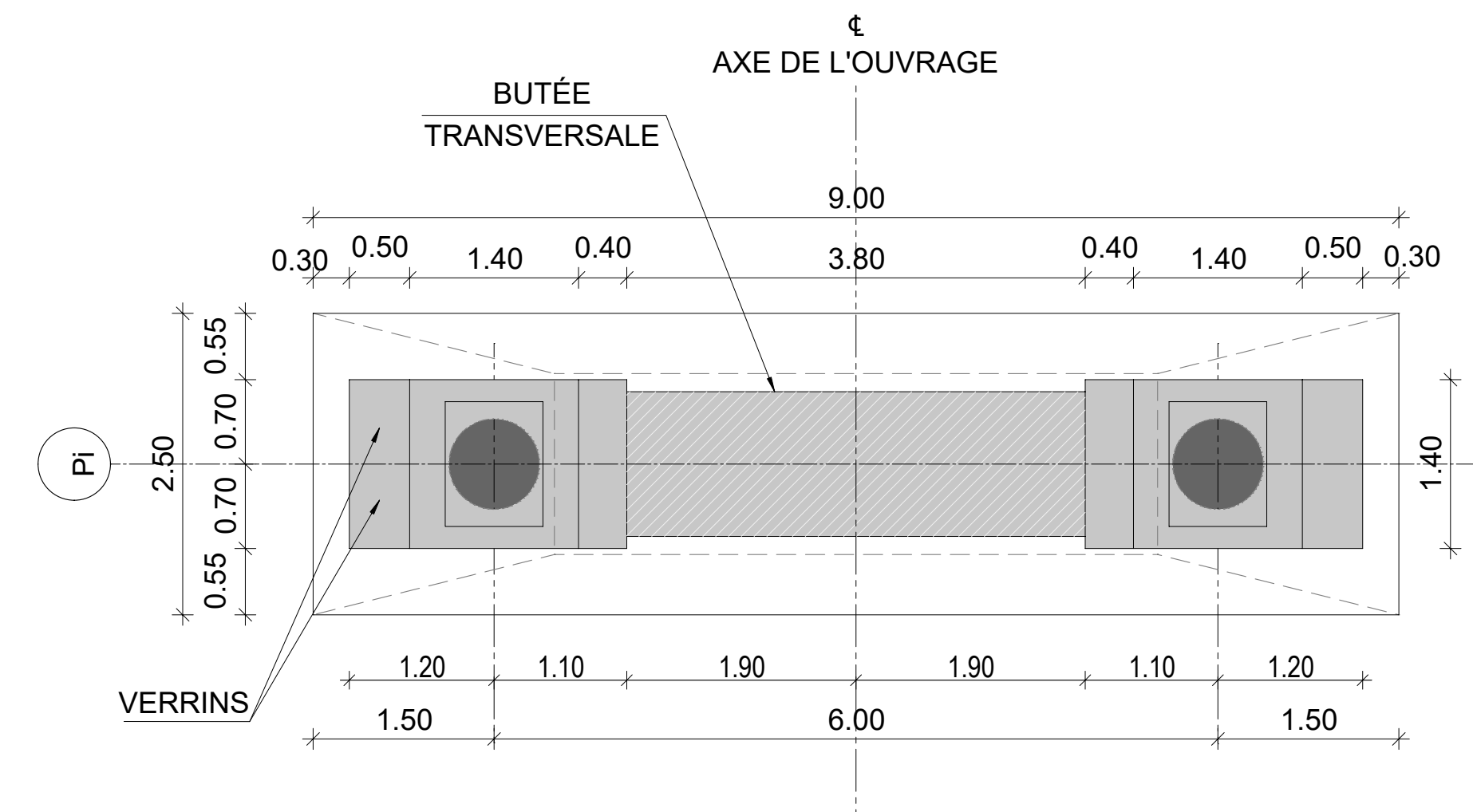
PILES COURANTES (P01, P03, P05, P07, P09, P11, P13 ET P15)
ÉLÉVATION COUPÉ B-B
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILE EN PERSPECTIVE 3D
SANS ÉCHELLE (A0)



PILES COURANTES (P01, P03, P05, P07, P09, P11, P13 ET P15)
PLAN EN VUE COUPÉ A-A
ÉCHELLE 1:50 (A0)



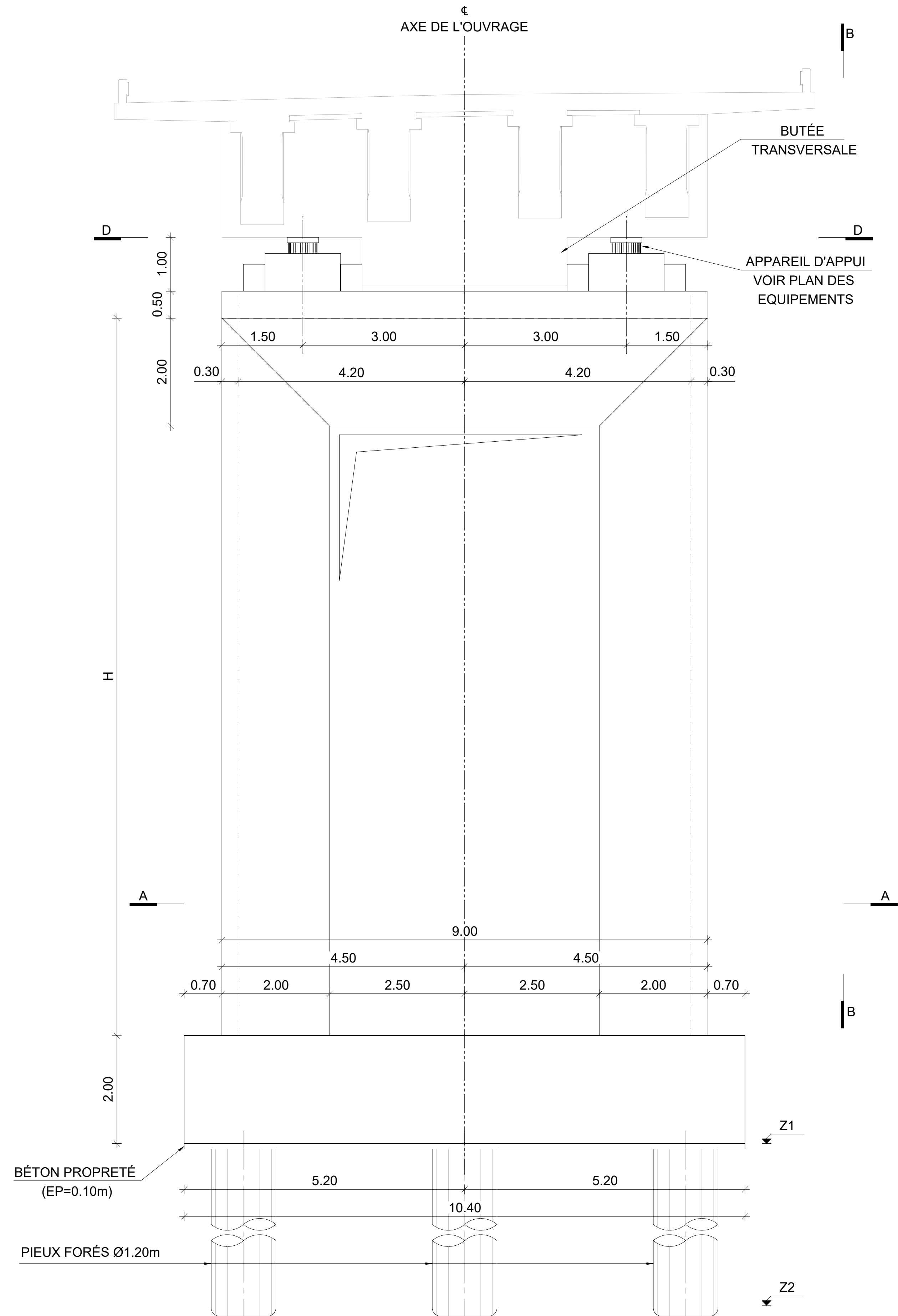
PILES COURANTES (P01, P03, P05, P07, P09, P11, P13 ET P15)
PLAN EN VUE COUPÉ D-D
ÉCHELLE 1:50 (A0)

TABLEAU GÉNÉRAL - DÉTAILS DES PILES

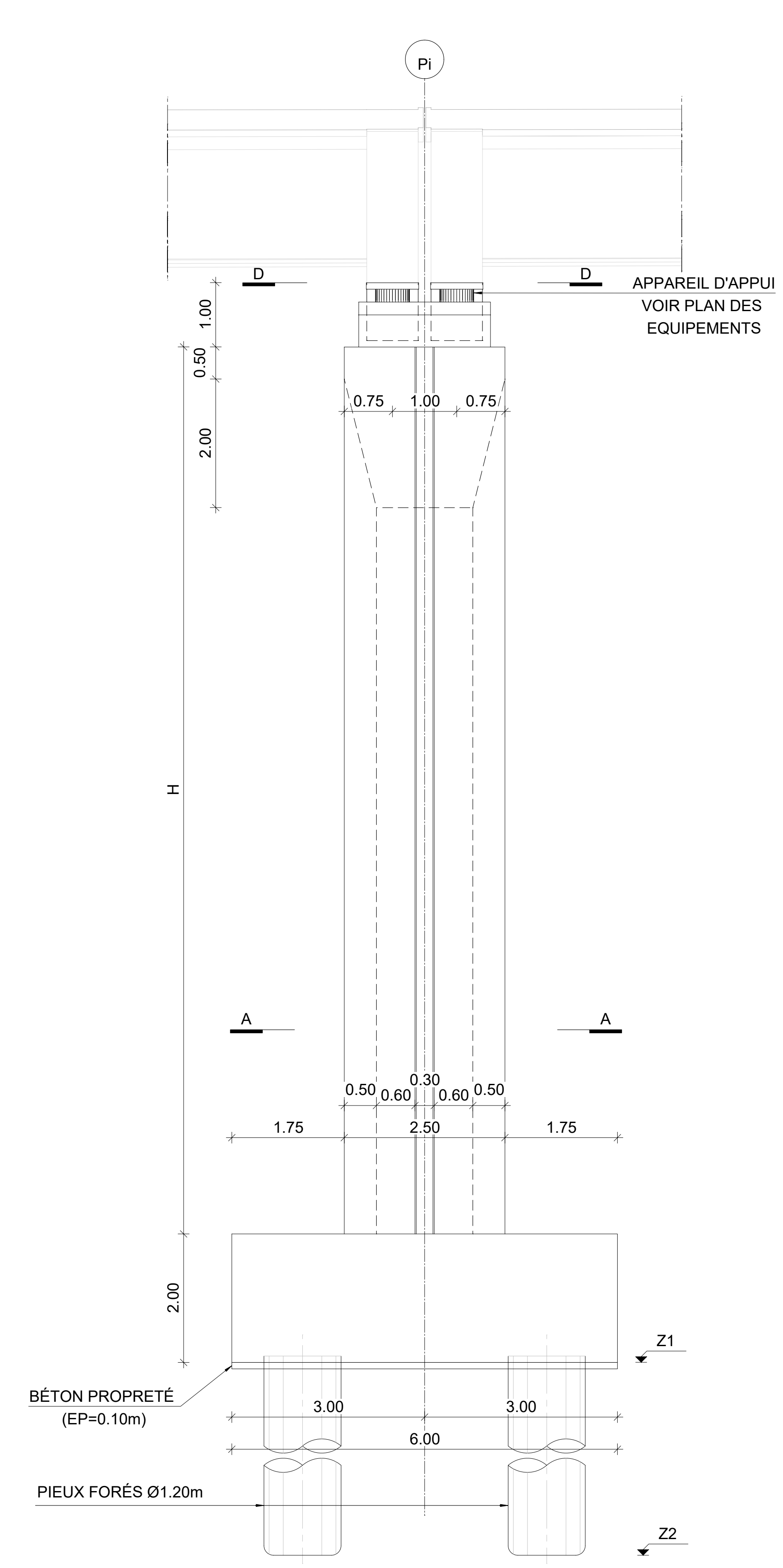
PILE	H	Z1	Z2
P01	5.40 m	124.337 m	116.337 m
P02	8.30 m	121.301 m	111.301 m
P03	10.10 m	119.766 m	111.766 m
P04	11.40 m	118.528 m	103.528 m
P05	11.50 m	118.492 m	103.492 m
P06	13.30 m	116.556 m	100.556 m
P07	13.20 m	116.921 m	101.921 m
P08	13.80 m	116.383 m	101.383 m
P09	14.70 m	115.547 m	100.547 m
P10	14.30 m	115.811 m	99.811 m
P11	13.50 m	116.876 m	101.876 m
P12	13.00 m	117.438 m	102.438 m
P13	11.20 m	119.302 m	111.302 m
P14	8.30 m	122.066 m	112.066 m
P15	3.80 m	128.831 m	120.831 m

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

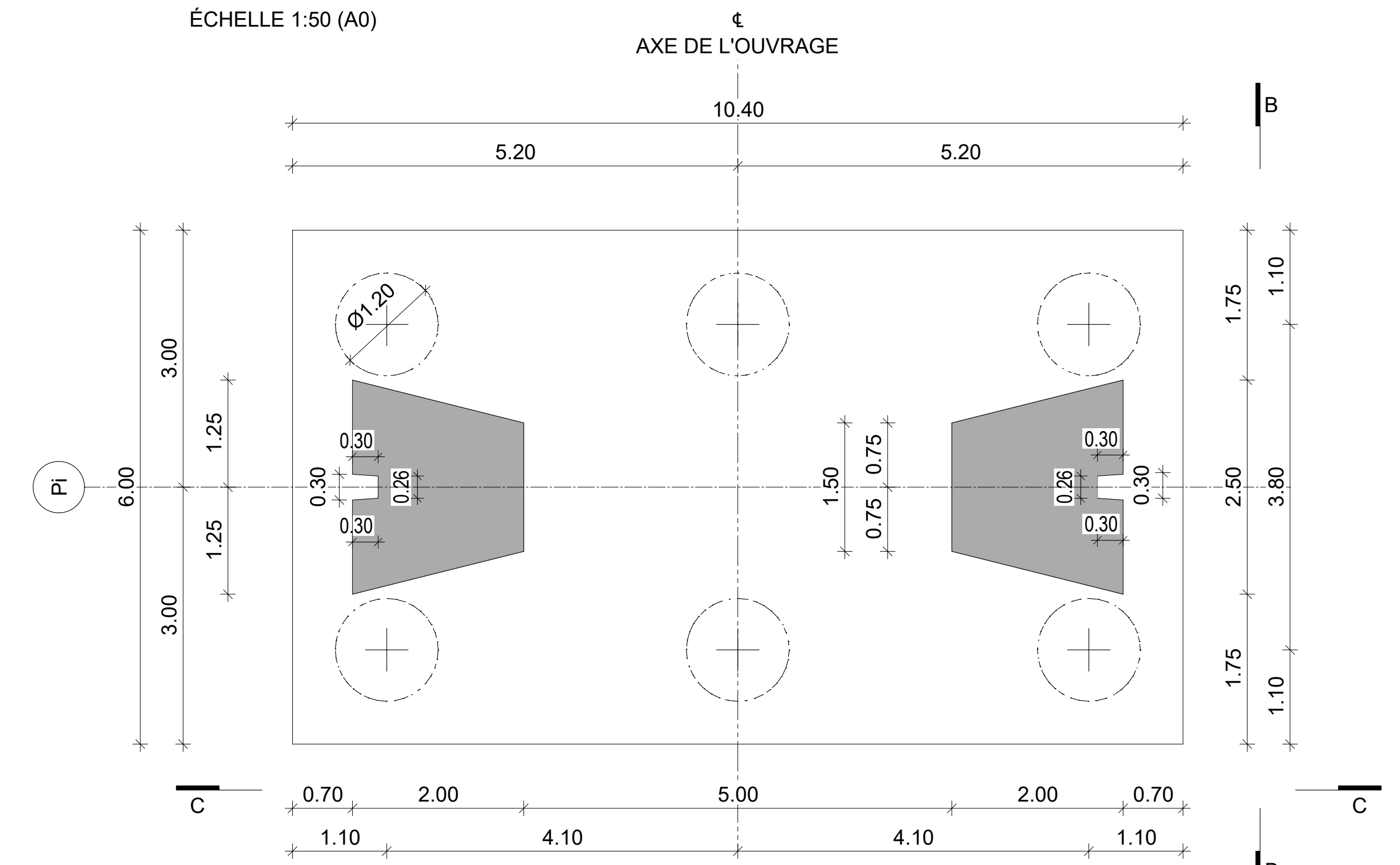
ÉCHELLE :
INDIQUÉES
DATE :



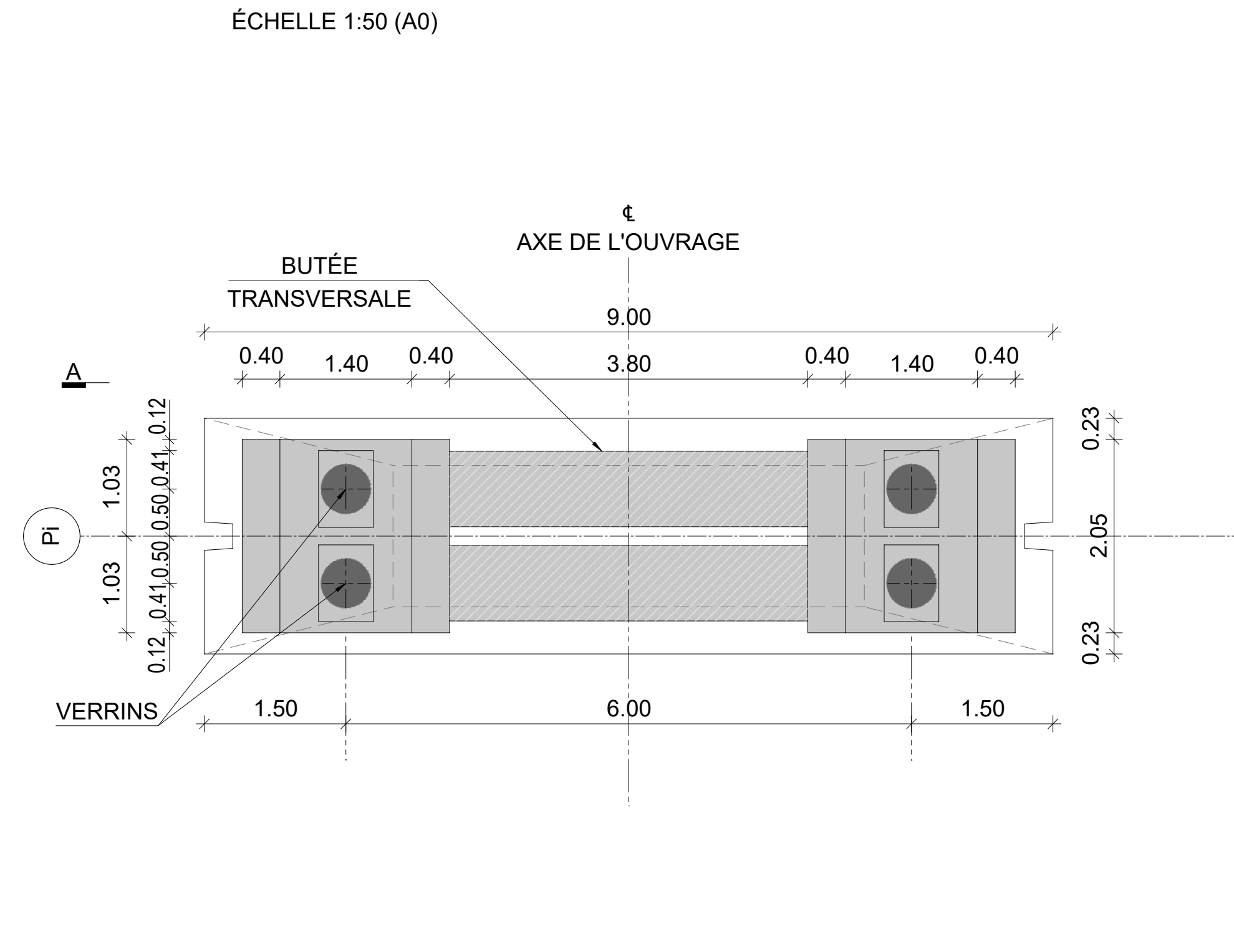
PILES CULÉES (P04, P08, ET P12)
ÉLEVATION COUPÉ C-C
ÉCHELLE 1:50 (A0)



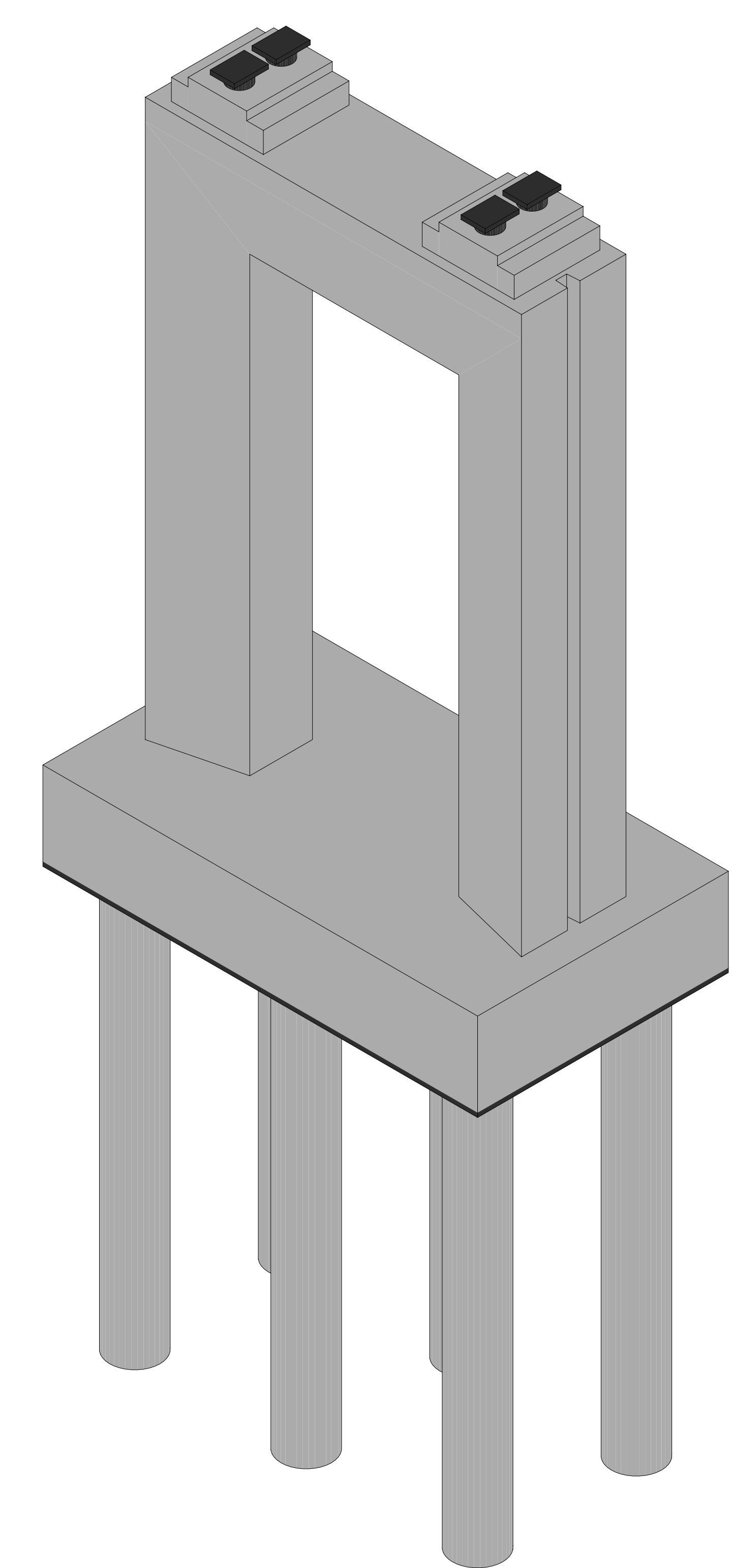
PILES CULÉES (P04, P08, ET P12)
ÉLEVATION COUPÉ B-B
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CULÉES (P04, P08, ET P12)
PLAN EN VUE COUPÉ B-B
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CULÉES (P04, P08, ET P12)
PLAN EN VUE COUPÉ D-D
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILE EN PERSPECTIVE 3D
SANS ÉCHELLE (A0)

TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Épaisseur Min (mm)	Température Max (°C)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: Y1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARDES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

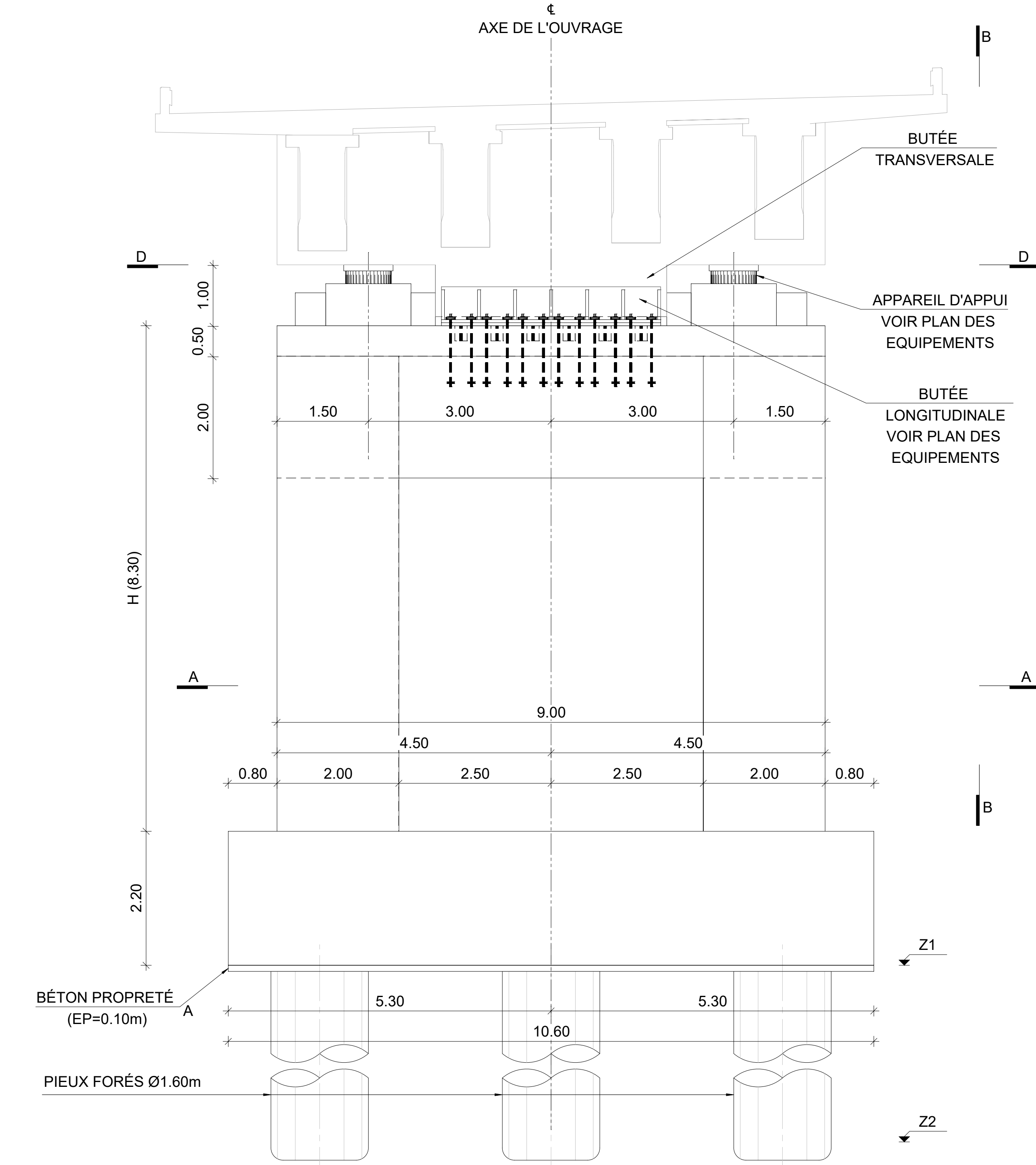
- NOTES :**
- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR. TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.
 - TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.
 - LES MESURES, CÔTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.
 - TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.
 - TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMEUSE DE TYPE EC2R1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.

TABLEAU GÉNÉRAL - DÉTAILS DES PILES

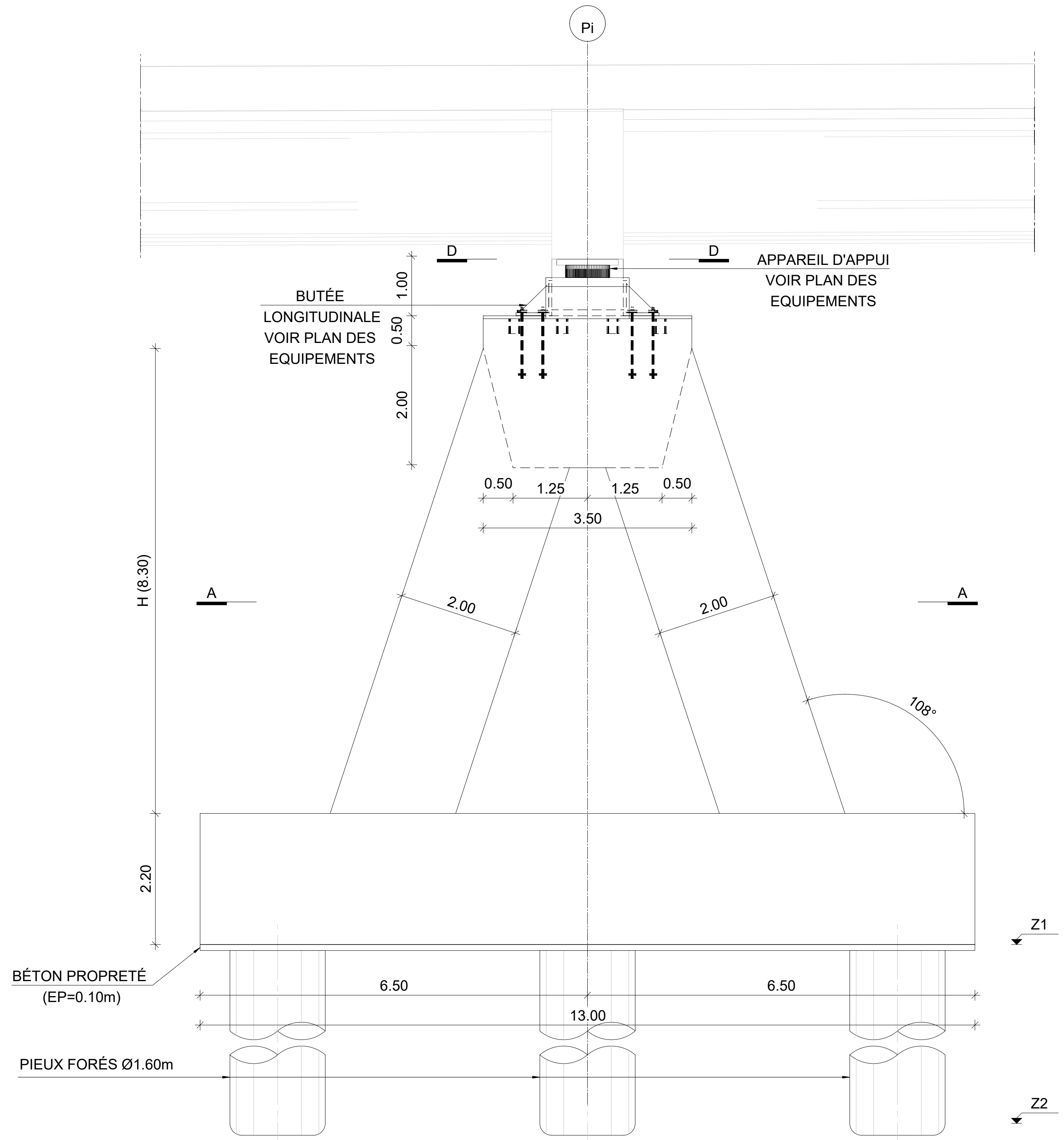
PILE	H	Z1	Z2
P01	5.40 m	124.337 m	116.337 m
P02	8.30 m	121.301 m	111.301 m
P03	10.10 m	119.766 m	111.766 m
P04	11.40 m	118.528 m	103.528 m
P05	11.50 m	118.492 m	103.492 m
P06	13.30 m	116.556 m	100.556 m
P07	13.20 m	116.921 m	101.921 m
P08	13.80 m	116.383 m	101.383 m
P09	14.70 m	115.547 m	100.547 m
P10	14.30 m	115.811 m	99.811 m
P11	13.50 m	116.876 m	101.876 m
P12	13.00 m	117.438 m	102.438 m
P13	11.20 m	119.302 m	111.302 m
P14	8.30 m	122.066 m	112.066 m
P15	3.80 m	128.831 m	120.831 m

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

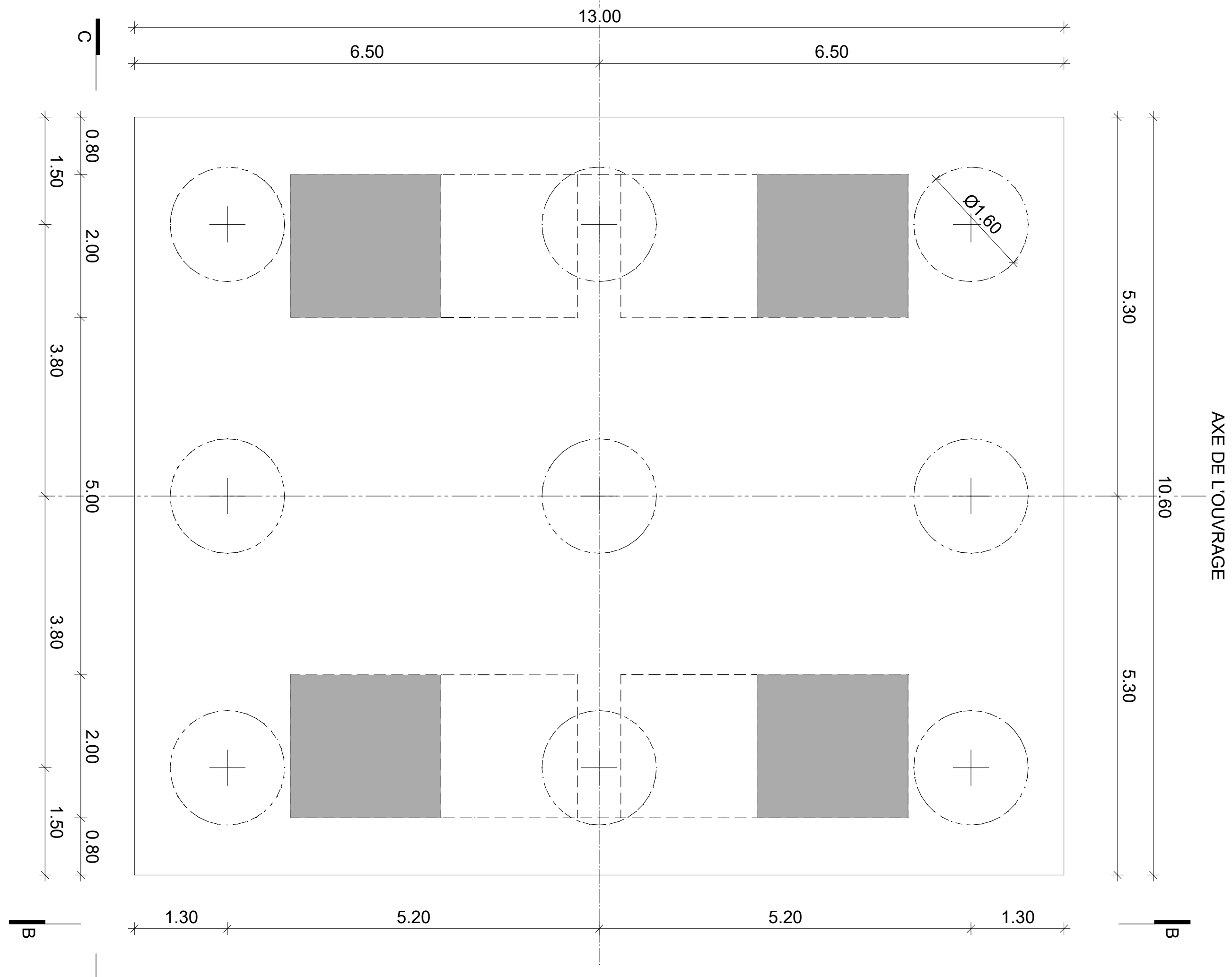
ÉCHELLE :
INDIQUÉES
DATE :



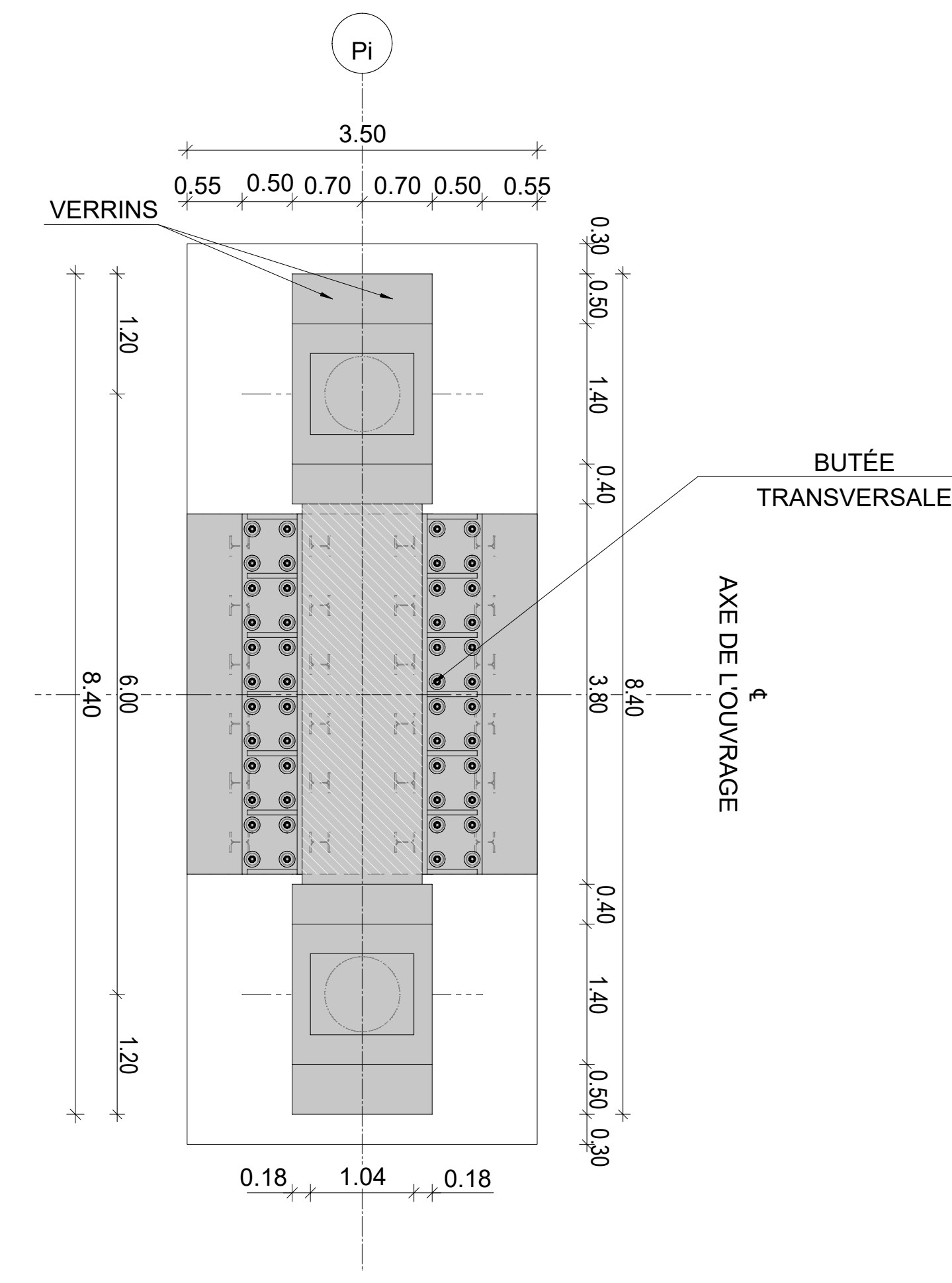
PILES CENTRALES (P02 ET P14)
ÉLÉVATION COUPÉ C-C
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CENTRALES (P02 ET P14)
ÉLÉVATION COUPÉ B-B
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CENTRALES (P02 ET P14)
PLAN EN VUE COUPÉ A-A
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CENTRALES (P02 ET P14)
PLAN EN VUE COUPÉ D-D
ÉCHELLE 1:50 (A0)

TABLEAU GÉNÉRAL - DÉTAILS DES PILES

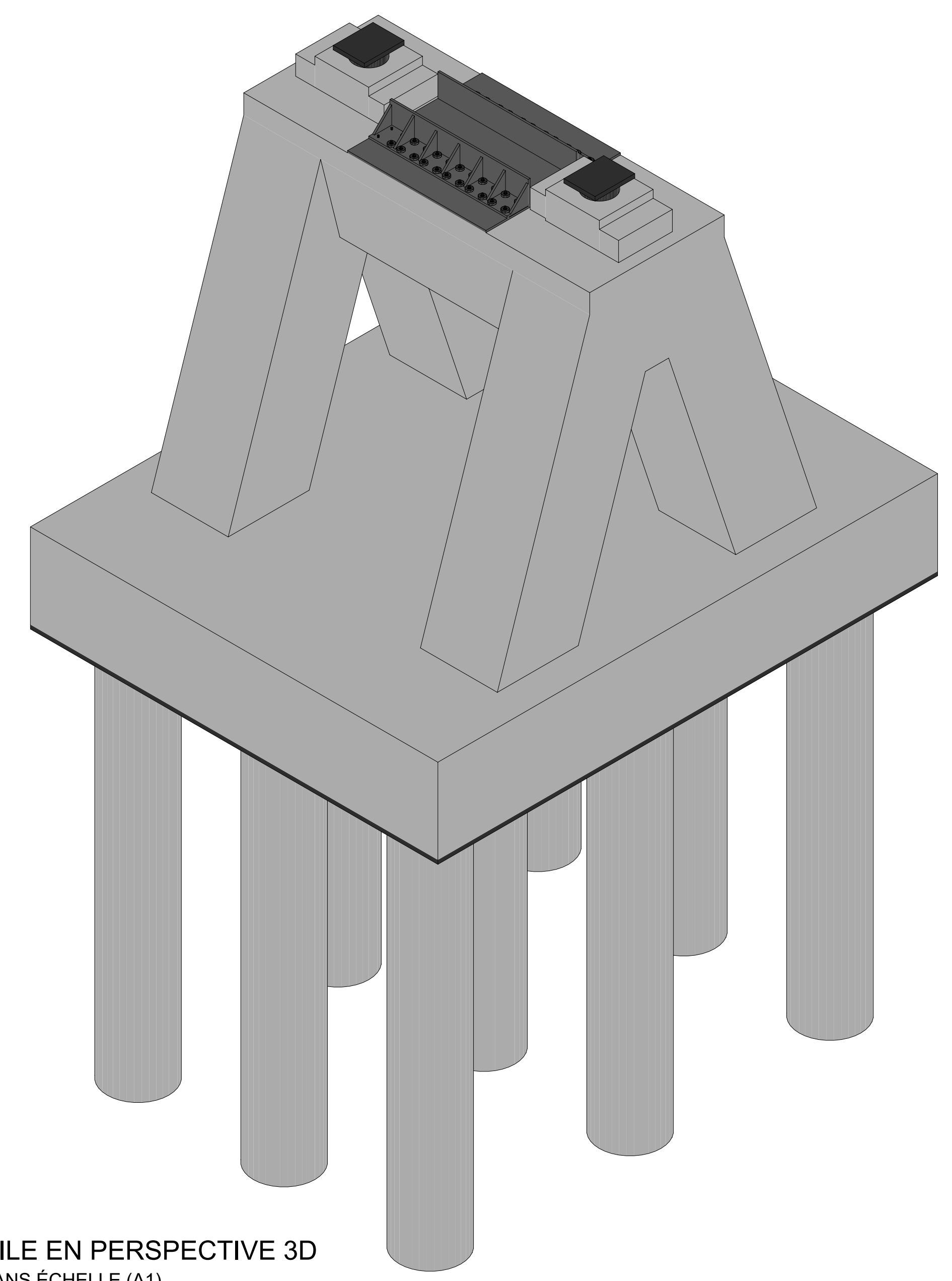
PILE	H	Z1	Z2
P01	5.40 m	124.337 m	116.337 m
P02	8.30 m	121.301 m	111.301 m
P03	10.10 m	119.766 m	111.766 m
P04	11.40 m	118.528 m	103.528 m
P05	11.50 m	118.492 m	103.492 m
P06	13.30 m	116.556 m	100.556 m
P07	13.20 m	116.921 m	101.921 m
P08	13.80 m	116.383 m	101.383 m
P09	14.70 m	115.547 m	100.547 m
P10	14.30 m	115.811 m	99.811 m
P11	13.50 m	116.876 m	101.876 m
P12	13.00 m	117.438 m	102.438 m
P13	11.20 m	119.302 m	111.302 m
P14	8.30 m	122.066 m	112.066 m
P15	3.80 m	128.831 m	120.831 m

TABLEAU DES MATÉRIAUX

COMPOSANT	Classe de Béton (à Concréter)	Classe de Béton (à Concréter)	Épaisseur Min. (mm)	Valeur Norm. et Clivage	Classe de Béton	Classe de Béton (à Bétonner)
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en torsion: Y1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARDES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR, TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.
- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.
- LES MESURES, CÔTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.
- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.



PILE EN PERSPECTIVE 3D
SANS ÉCHELLE (A1)

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

ÉCHELLE :
INDIQUÉS
DATE :

TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton	Classe de Béton
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: T1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARGES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

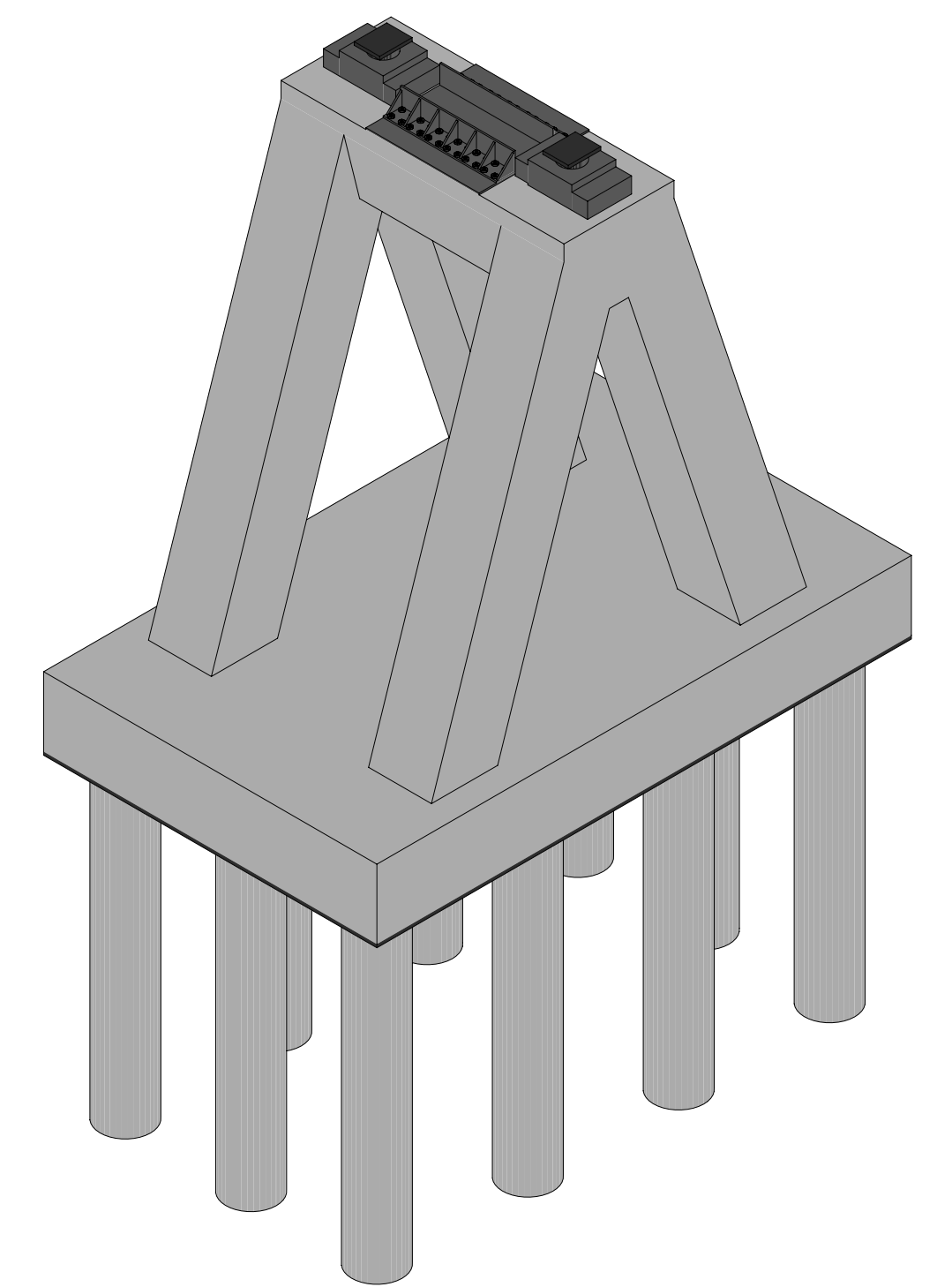
- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR. TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.

- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.

- LES MESURES, CÔTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.

- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.

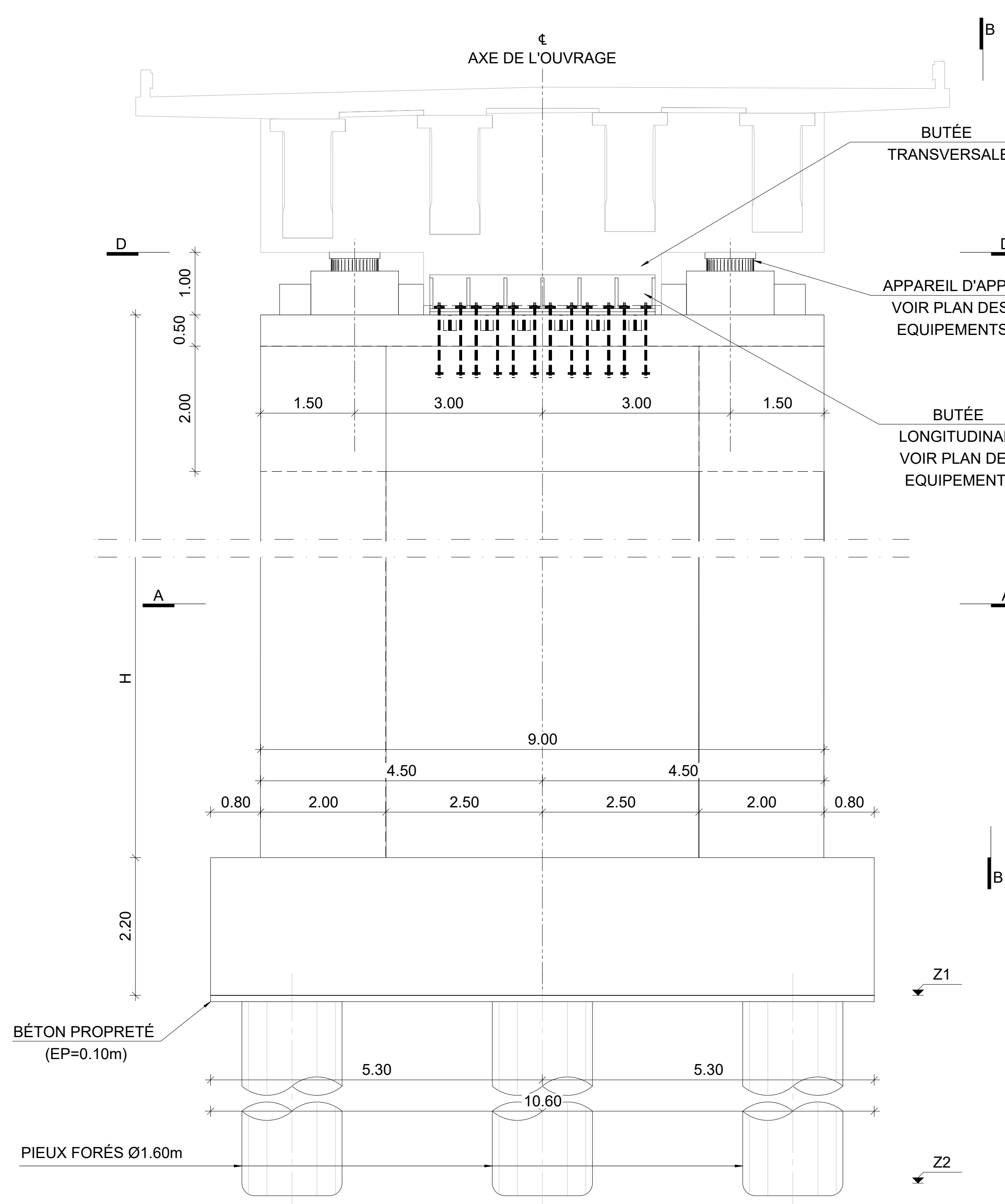
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMINEUSE DE TYPE EC21, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.



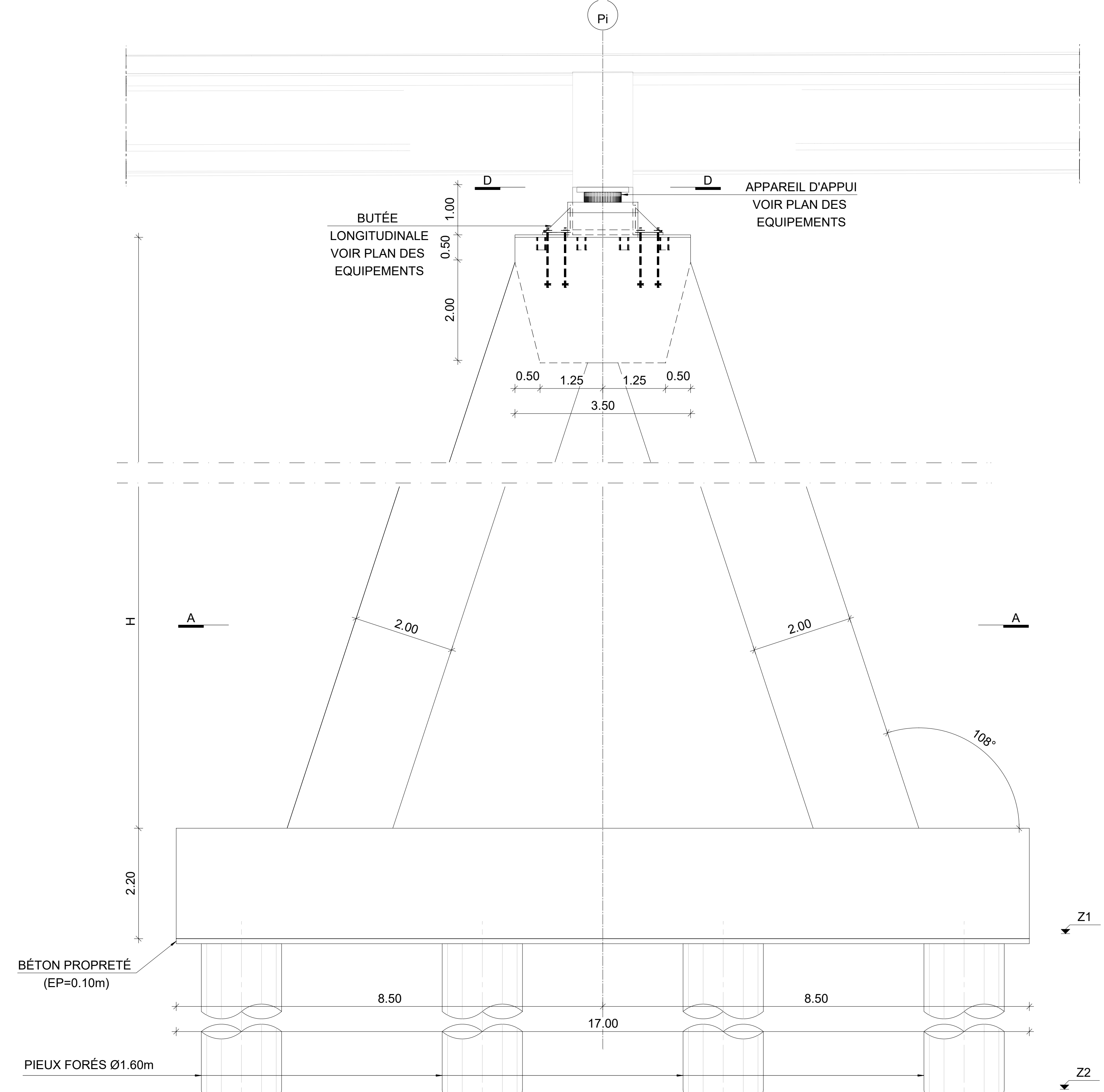
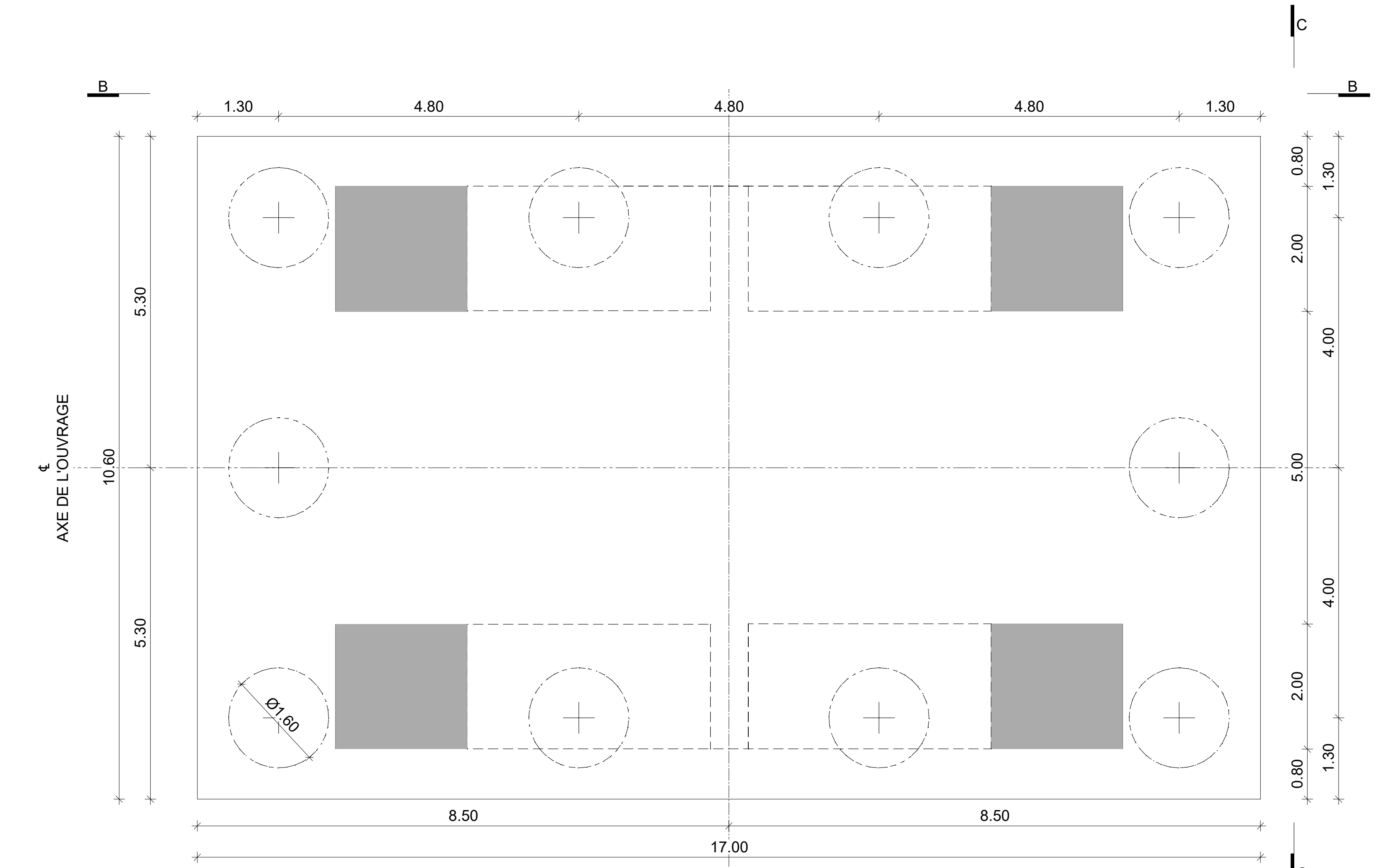
PILE EN PERSPECTIVE 3D
SANS ÉCHELLE (A0)

TABLEAU GÉNÉRAL - DÉTAILS DES PILES

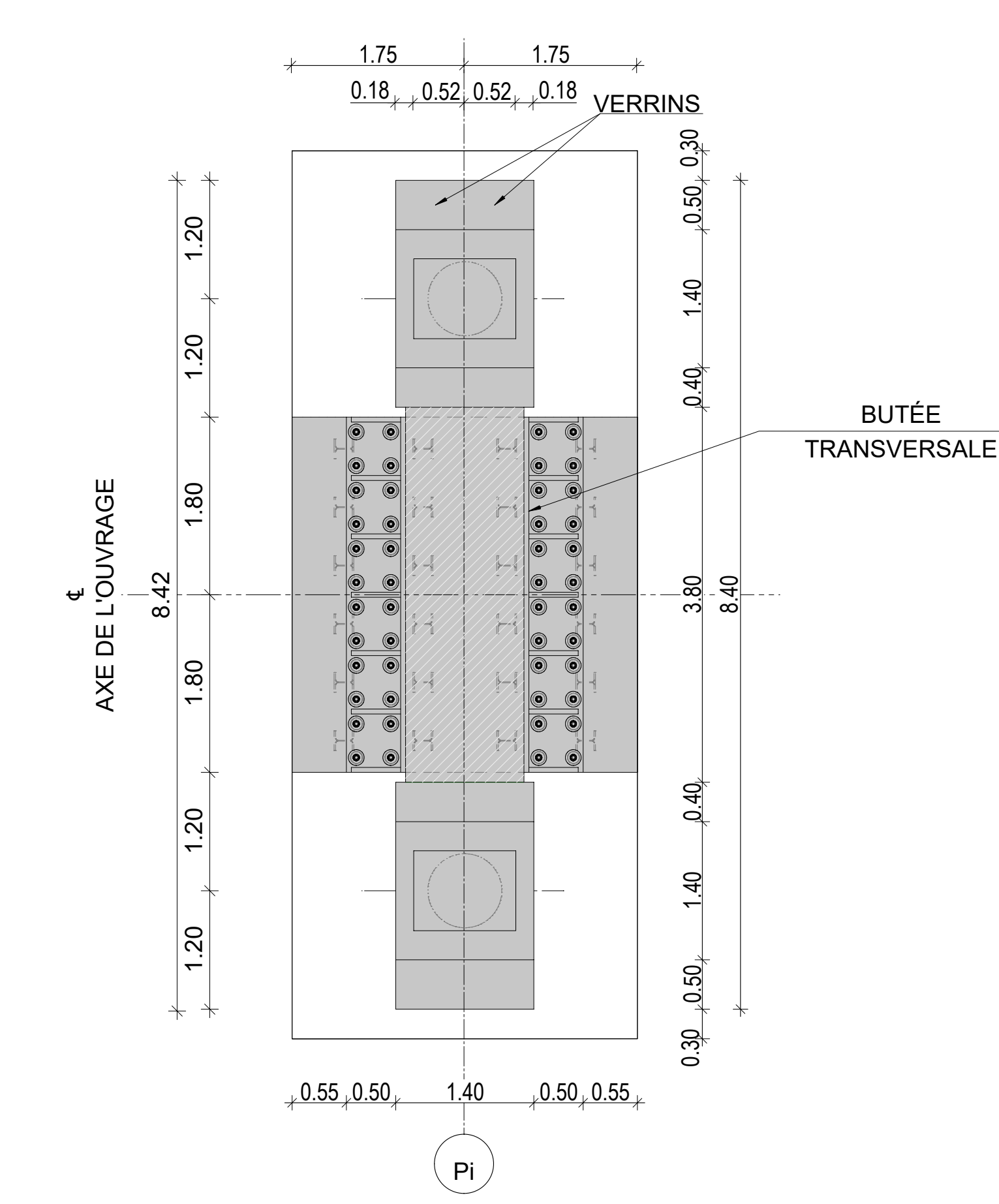
PILE	H	Z1	Z2
P01	5.40 m	124.337 m	116.337 m
P02	8.30 m	121.301 m	111.301 m
P03	10.10 m	119.766 m	111.766 m
P04	11.40 m	118.528 m	103.528 m
P05	11.50 m	118.492 m	103.492 m
P06	13.30 m	116.556 m	100.556 m
P07	13.20 m	116.921 m	101.921 m
P08	13.80 m	116.383 m	101.383 m
P09	14.70 m	115.547 m	100.547 m
P10	14.30 m	115.811 m	99.811 m
P11	13.50 m	116.876 m	101.876 m
P12	13.00 m	117.438 m	102.438 m
P13	11.20 m	119.302 m	111.302 m
P14	8.30 m	122.066 m	112.066 m
P15	3.80 m	128.831 m	120.831 m



PILES CENTRALES (P06 ET P10)
ÉLÉVATION COUPÉ C-C
ÉCHELLE 1:50 (A0)



PILES CENTRALES (P06 ET P10)
ÉLÉVATION COUPÉ B-B
ÉCHELLE 1:50 (A0)



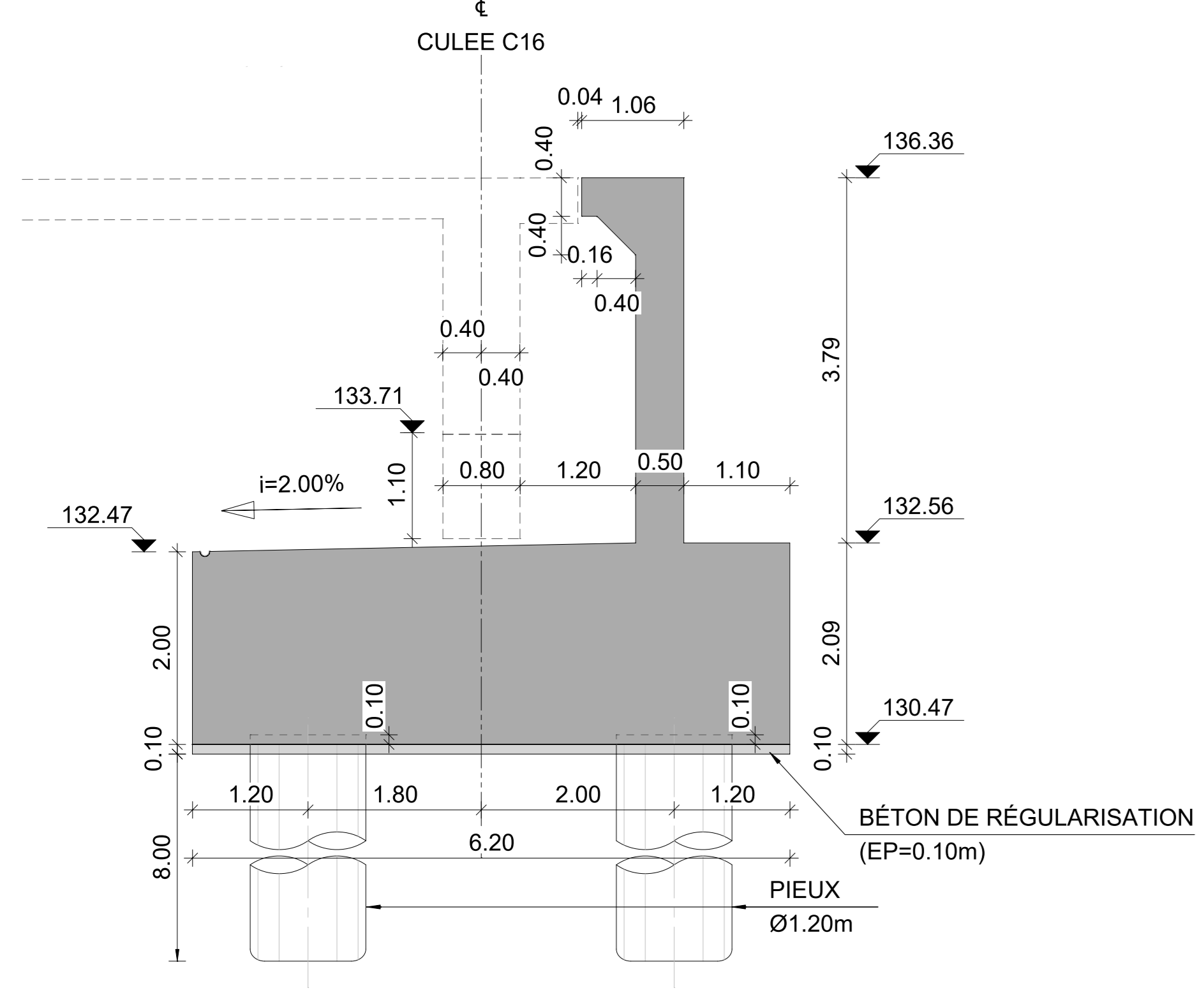
Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

ÉCHELLE :
INDIQUÉES
DATE :

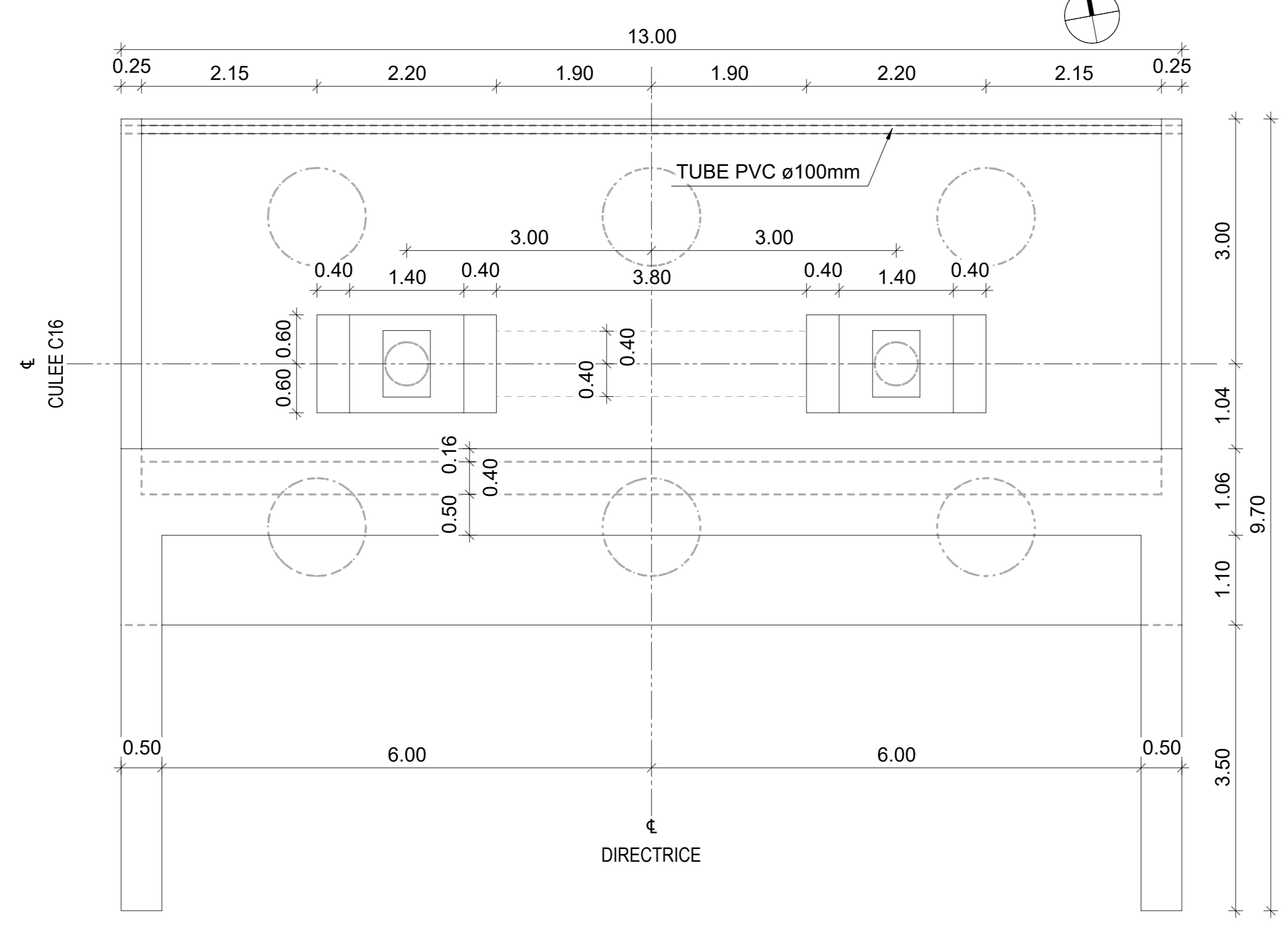
TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Résistance à la Compression	Classe d'Exposition Environnementale	Épaisseur Min. Recouvrement (cm)	Temp. d'Élévation en Site (°C)	Épaisseur Min. de Béton (cm)	Classe de Consistance (d'État)
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piliers	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: Y1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARDES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

NOTES :

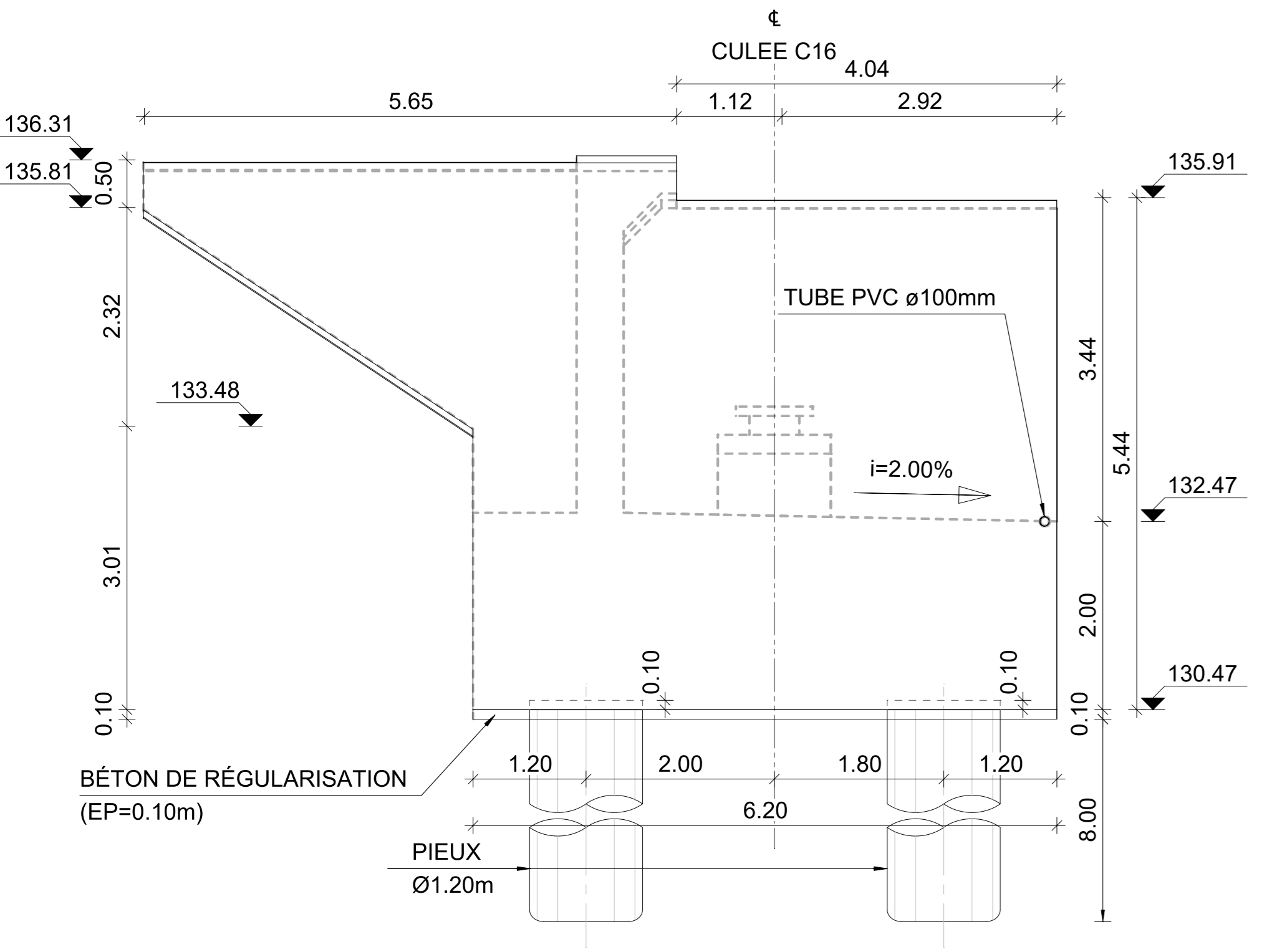
- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR. TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.
- TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.
- LES MESURES, COTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.
- TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.
- TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMINEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.



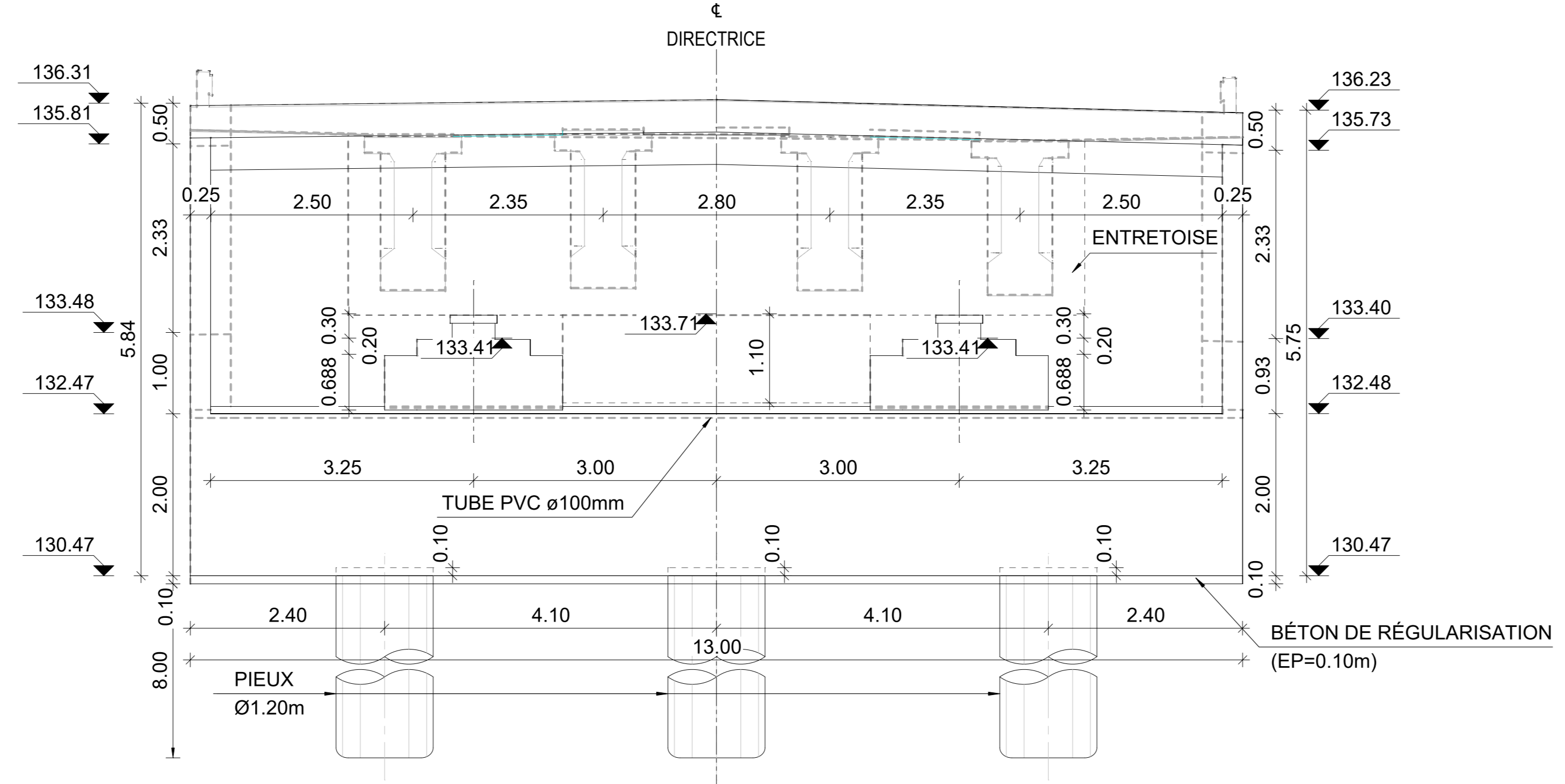
COUPE LONGITUDINALE
ECHELLE 1:50 (A1)



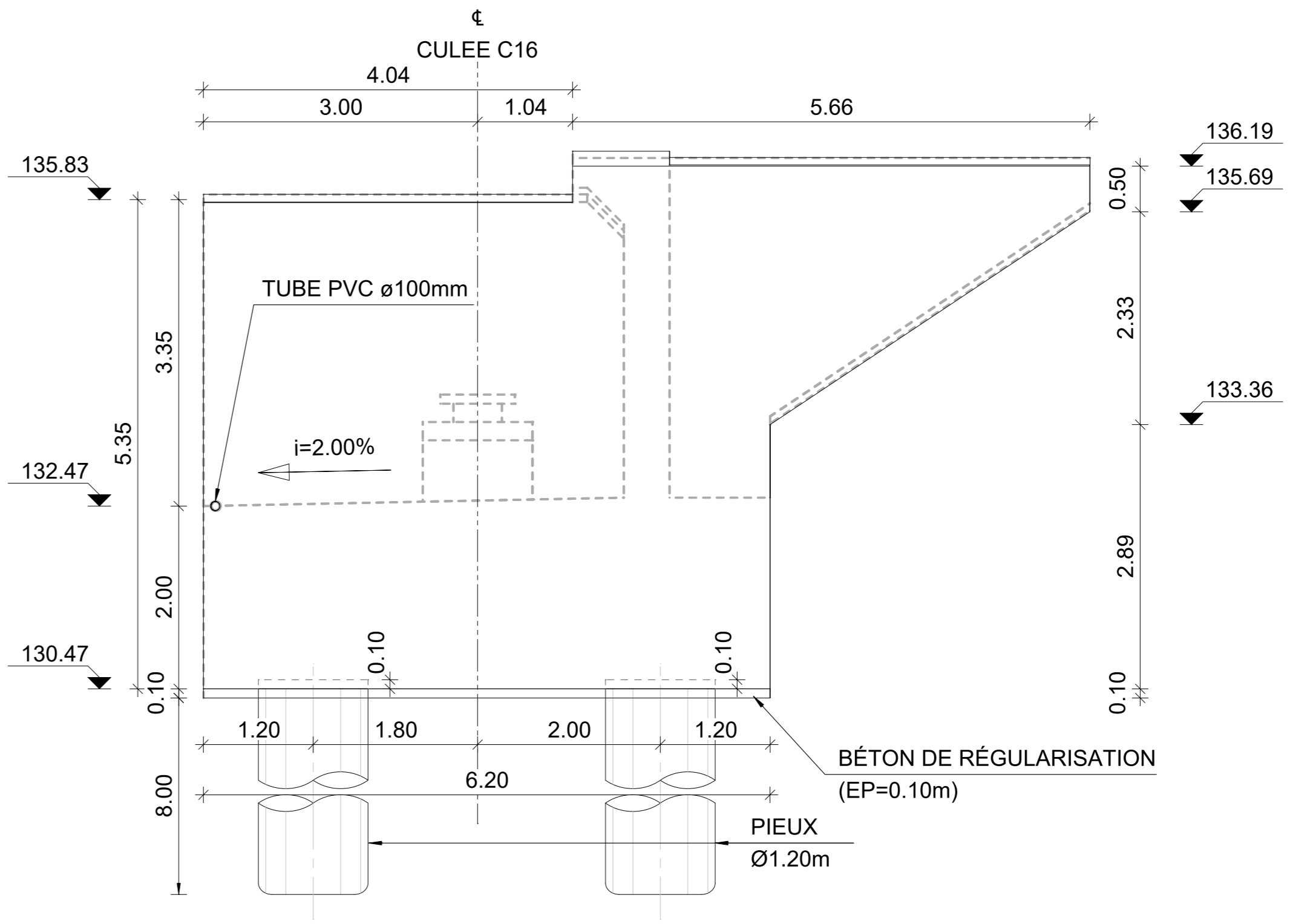
VUE EN PLAN
ECHELLE 1:50 (A1)



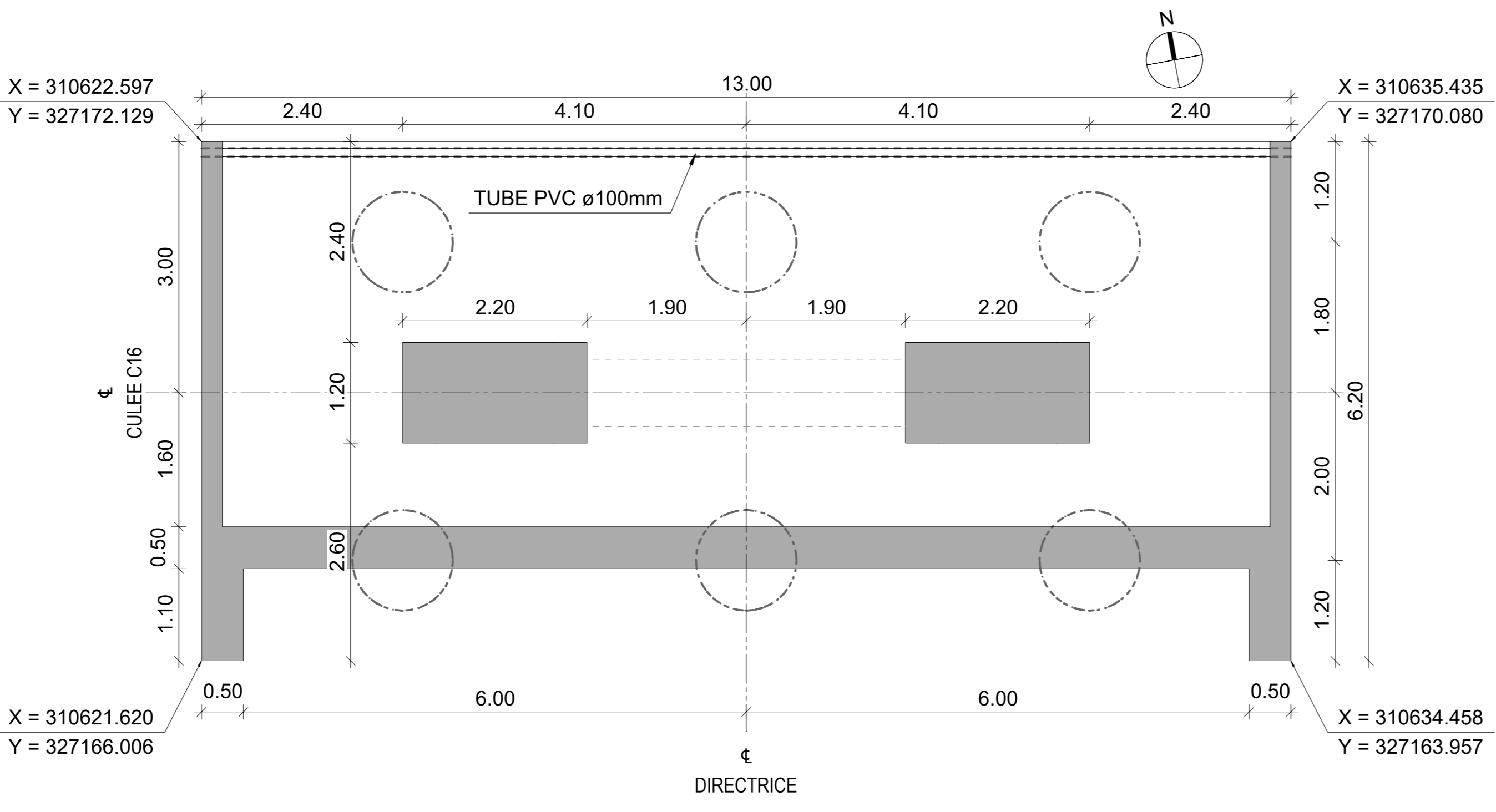
ÉLÉVATION LATÉRAL GAUCHE
ECHELLE 1:50 (A1)



ÉLÉVATION FRONTALE
ECHELLE 1:50 (A1)



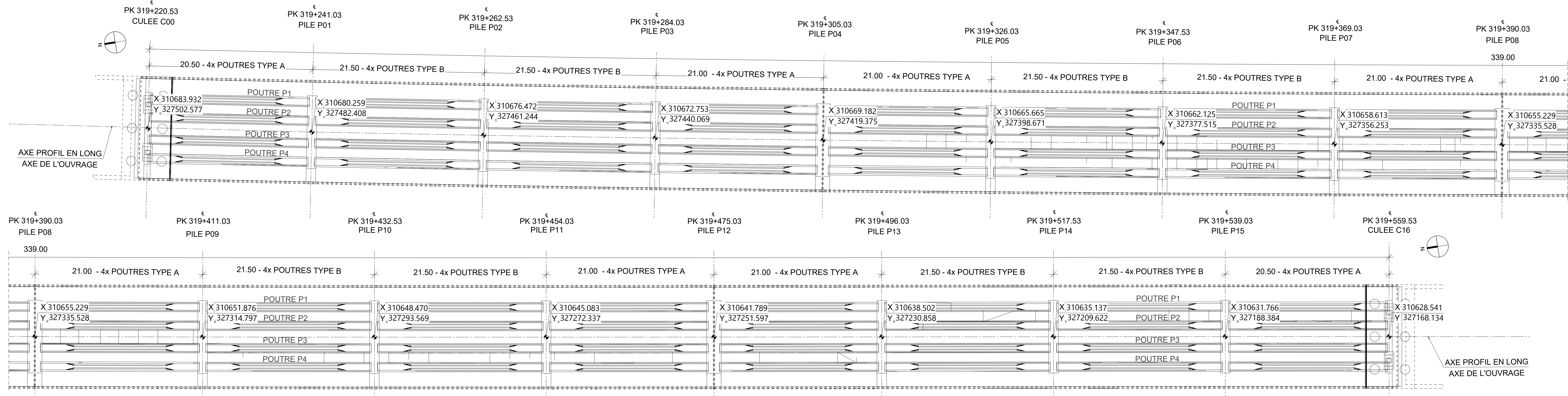
ÉLÉVATION LATÉRAL DROITE
ECHELLE 1:50 (A1)



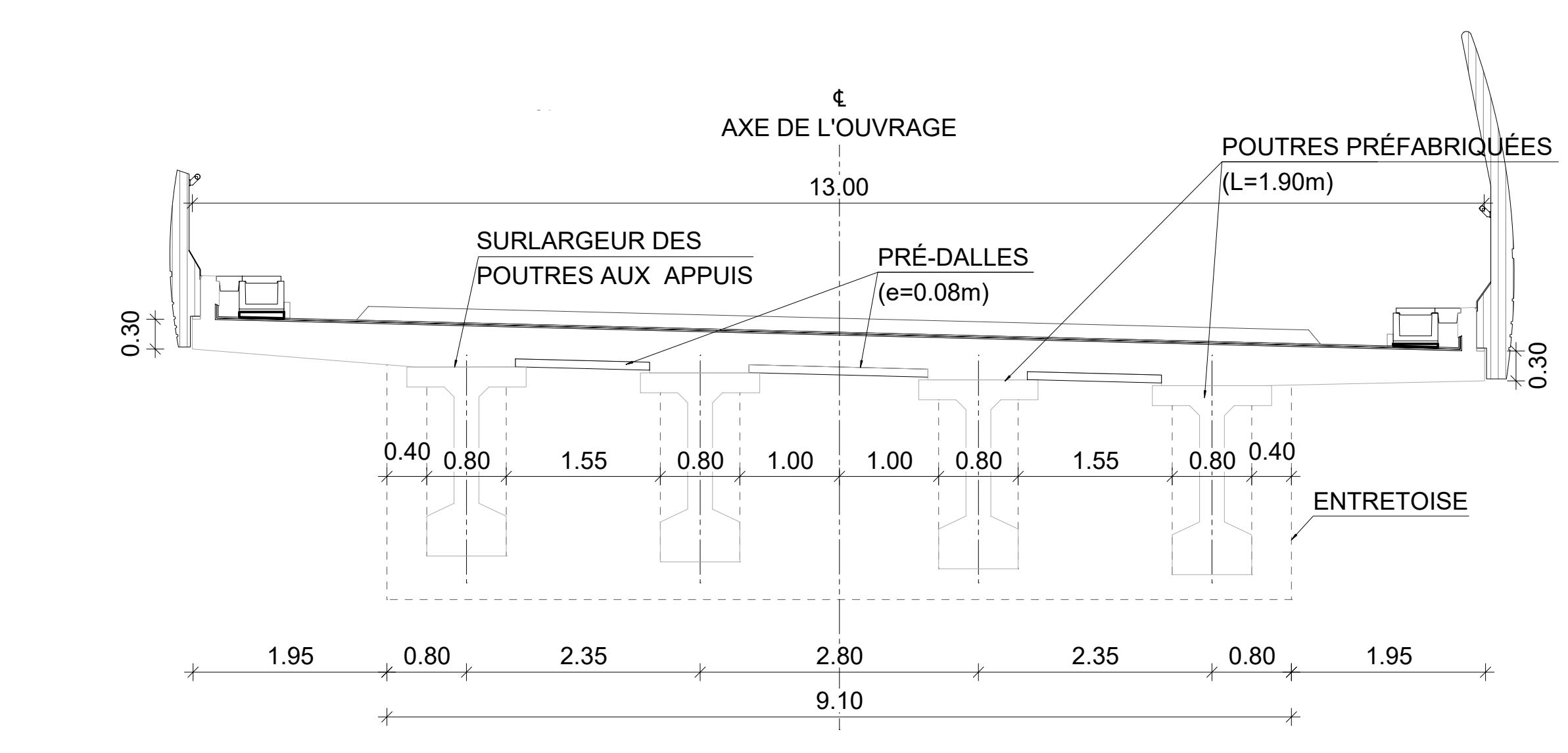
PLAN DES FONDATIONS
ECHELLE 1:50 (A1)

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT
..		
..		
..		

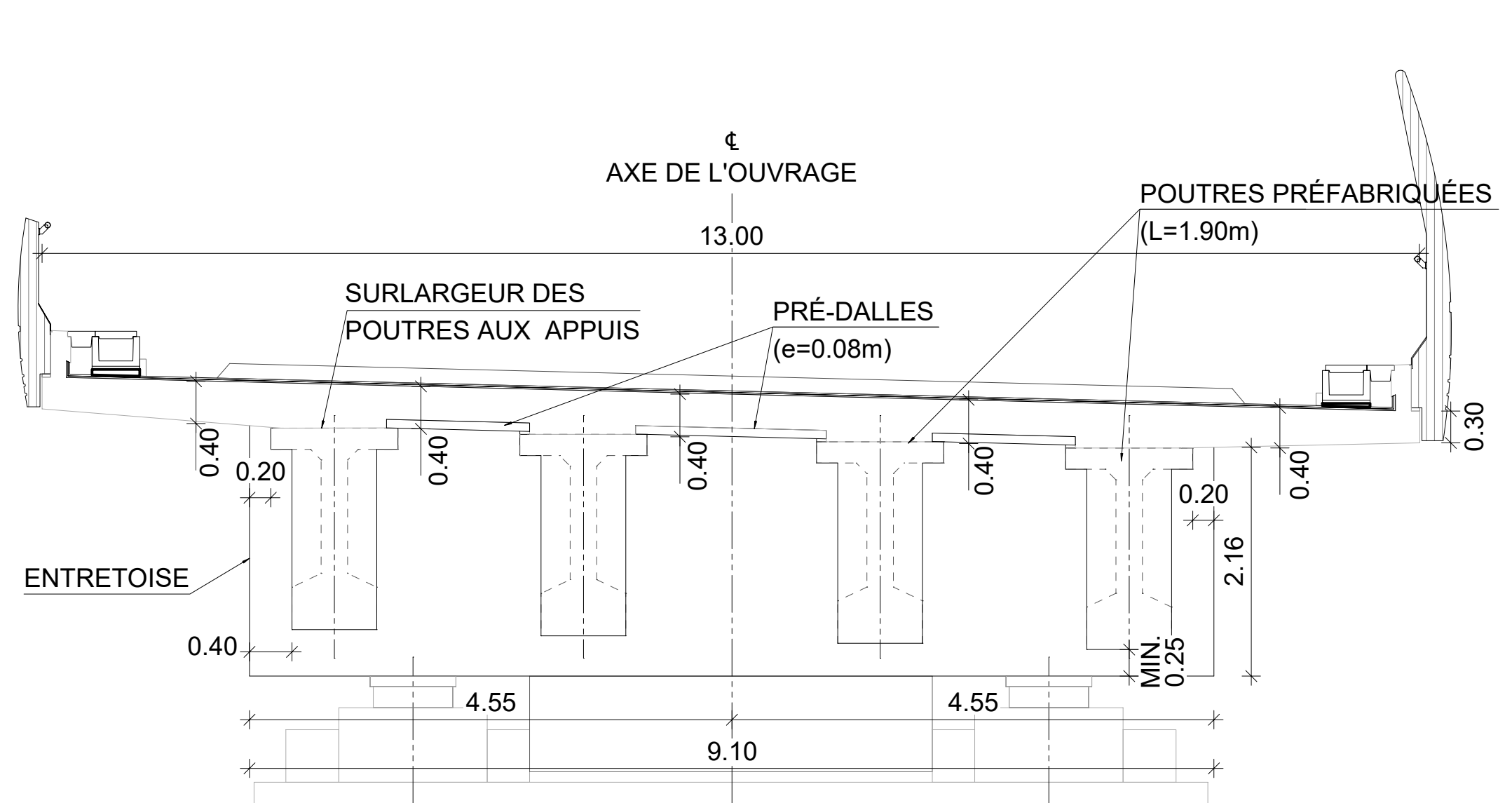
ECHELLE :
DATE :



PLAN DES POUTRES PRÉFABRIQUÉES
ECHILLE 1:200 (A0)



SECTION TRANSVERSALE COURANTE
ECHILLE 1:50 (A0)



SECTION TRANSVERSALE EN PILES
ECHILLE 1:50 (A0)

TABLE DES COTES ALTIMÉTRIQUES ET DES COORDONNÉES D'IMPLANTATION DES EXTRÉMITÉS DES POUTRES

ALIGNEMENT	POSITION	POUTRE 1				POUTRE 2				POUTRE 3				POUTRE 4											
		M (m)	P (m)	Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)	M (m)	P (m)	Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)	M (m)	P (m)	Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)						
C0	+	310687.587	327501.702	135.413	135.243	134.828	132.928	310685.275	327502.126	135.472	135.302	134.887	132.987	310682.521	327502.832	135.542	135.372	134.957	133.057	310680.210	327503.057	135.600	135.430	135.015	133.115
P1	-	310684.023	327482.135	135.473	135.303	134.888	132.988	310681.710	327482.553	135.531	135.361	134.946	133.046	310678.955	327483.050	135.601	135.431	135.016	133.116	310676.642	327483.468	135.660	135.490	135.075	133.175
P1	+	310683.881	327481.348	135.475	135.305	134.890	132.990	310681.568	327481.765	135.534	135.364	134.949	133.049	310678.813	327482.263	135.604	135.434	135.019	133.119	310676.500	327482.680	135.662	135.492	135.077	133.177
P2	-	310680.237	327460.983	135.537	135.367	134.952	133.052	310677.923	327461.393	135.598	135.428	135.011	133.111	310675.166	327461.882	135.666	135.496	135.081	133.181	310672.852	327462.293	135.725	135.555	135.140	133.240
P2	+	310680.097	327460.196	135.539	135.369	134.954	133.054	310677.783	327460.606	135.598	135.428	135.013	133.113	310675.026	327461.094	135.668	135.498	135.083	133.183	310672.712	327461.505	135.727	135.557	135.142	133.242
P3	-	310676.518	327439.819	135.602	135.432	135.017	133.117	310674.202	327440.222	135.660	135.490	135.075	133.175	310671.444	327440.702	135.730	135.560	135.145	133.245	310669.129	327441.106	135.789	135.619	135.204	133.304
P3	+	310676.380	327439.031	135.604	135.434	135.019	133.119	310674.065	327439.434	135.663	135.493	135.078	133.178	310671.307	327439.914	135.733	135.563	135.148	133.248	310668.991	327440.317	135.791	135.621	135.206	133.306
PC4	-	310672.997	327419.431	135.664	135.494	135.079	133.179	310670.681	327419.828	135.722	135.552	135.137	133.237	310667.921	327420.300	135.792	135.622	135.207	133.307	310665.605	327420.697	135.851	135.681	135.266	133.366
PC4	+	310672.761	327418.052	135.668	135.498	135.083	133.183	310670.445	327418.448	135.727	135.557	135.142	133.242	310667.685	327418.920	135.797	135.627	135.212	133.312	310665.369	327419.317	135.855	135.685	135.270	133.370
P5	-	310669.431	327398.442	135.728	135.558	135.143	133.243	310667.114	327398.832	135.786	135.616	135.204	133.304	310664.353	327399.298	135.854	135.684	135.270	133.370	310662.035	327399.689	135.909	135.739	135.325	133.425
P5	+	310669.298	327397.653	135.730	135.560	135.145	133.245	310666.981	327398.044	135.789	135.619	135.204	133.304	310664.220	327398.509	135.856	135.686	135.272	133.372	310661.902	327398.899	135.911	135.741	135.327	133.427
P6	-	310665.883	327377.245	135.792	135.622	135.207	133.307	310663.564	327377.631	135.851	135.681	135.266	133.366	310660.802	327378.090	135.910	135.740	135.330	133.430	310658.484	327378.475	135.951	135.781	135.371	133.471
P6	+	310665.751	327376.456	135.794	135.624	135.209	133.309	310663.433	327376.841	135.853	135.683	135.268	133.368	310660.671	327377.300	135.912	135.742	135.332	133.432	310658.353	327377.686	135.953	135.783	135.372	133.472
P7	-	310662.380	327356.040	135.857	135.687	135.272	133.372	310660.061	327356.421	135.915	135.745	135.330	133.430	310657.298	327356.874	135.966	135.796	135.389	133.489	310654.979	327357.255	135.993	135.823	135.416	133.516
P7	+	310662.250	327355.251	135.859	135.689	135.274	133.374	310659.931	327355.631	135.918	135.748	135.333	133.433	310657.168	327356.085	135.968	135.798	135.392	133.492	310654.849	327356.466	135.995	135.825	135.418	133.518
PC8	-	310659.044	327335.617	135.919	135.749	135.334	133.434	310656.924	327335.994	135.977	135.807	135.392	133.492	310653.960	327336.443	136.020	135.850	135.447	133.547	310651.641	327336.820	136.034	135.864	135.460	133.560
PC8	+	310658.819	327334.235	135.923	135.753	135.338	133.438	310656.500	327334.612	135.982	135.812	135.397	133.497	310653.736	327335.061	136.024	135.854	135.451	133.551	310651.416	327335.438	136.037	135.867	135.463	133.563
P9	-	310655.643	327314.595	135.983	135.813	135.398	133.498	310653.323	327314.969	136.041	135.871	135.456	133.556	310650.558	327315.414	136.076	135.906	135.506	133.606	310648.238	327315.788	136.075	135.905	135.505	133.605
P9	+	310655.516	327313.806	135.985	135.815	135.400	133.500	310653.196	327314.179	136.044	135.874	135.459	133.559	310650.431	327314.625	136.078	135.908	135.508	133.608	310648.111	327314.998	136.077	135.907	135.507	133.607
P10	-	310652.236	327293.371	136.047	135.877	135.462	133.562	310649.916	327293.742	136.106	135.936	135.521	133.621	310647.151	327294.185	136.132	135.962	135.558	133.658	310644.831	327294.556	136.118	135.948	135.544	133.644
P10	+	310652.110	327292.581	136.049	135.879	135.464	133.564	310649.790	327292.952	136.108	135.938	135.523	133.623	310647.025	327293.395	136.134	135.964	135.560	133.660	310644.704	327293.766	136.119	135.949	135.545	133.645
P11	-	310648.850	327272.143	136.112	135.942	135.527	133.627	310646.529	327272.512	136.170	136.000	135.585	133.683	310643.764	327272.952	136.188	136.018	135.611	133.711	310641.443	327273.321	136.160	135.990	135.582	133.682
P11	+	310648.724	327271.353	136.114	135.944	135.529	133.629	310646.403	327271.722	136.173	136.003	135.587	133.688	310643.638	327272.162	136.190	136.020	135.613	133.713	310641.317	327272.531	136.161	135.991	135.584	133.684
PC12	-	310645.602	327251.701	136.174	136.004	135.609	133.689	310643.281	327252.069	136.232	136.062	135.647	133.747	310640.516	327252.508	136.242	136.072	135.662	133.762	310638.195	327252.876	136.200	136.030	135.619	133.719
PC12	+	310645.383	327250.318	136.178	136.008	135.603	133.693	310643.062	327250.686	136.237	136.067	135.652	133.752	310640.297	327251.125	136.246	136.076	135.665	133.765	310637.976	327251.493	136.203	136.033	135.622	133.722
P13	-	310642.268	327230.664	136.238	136.068	135.653	133.753	310639.947	327231.032	136.296	136.126	135.711	133.811	310637.181	327231.470	136.298	136.128	135.714	133.814	310634.860	327231.838	136.242	136.072	135.658	133.758
P13	+	310642.143	327229.874	136.240	136.070	135.655	133.755	310639.822	327229.242	136.299	136.129	135.714	133.814	310637.056	327230.680	136.300	136.130	135.716	133.816	310634.735	327231.048	136.244	136.074	135.659	133.759
P14	-	310638.840	327209.634	136.317	136.147	135.734	133.834	310636.519	327209.402	136.366	136.196	135.784	133.884	310633.754	327209.840	136.361	136.191	135.778	133.876	310631.433	327210.208	136.302	136.132	135.717	133.817
P14	+	310638.840	327209.634	136.320	136.150	135.737	133.837	310636.519	327209.402	136.369	136.199	135.786	133.886	310633.754	327209.840	136.363	136.193	135.778	133.878	310631.433	327210.208	136.304	136.134	135.719	133.819
P15	-	310635.470	327187.798	136.400	136.230	135.820	133.920	310633.149	327188.167	136.438	136.268	135.858	133.958	310630.384	327188.600	136.425	136.255	135.840	133.940	310628.063	327188.975	136.367	136.197	135.782	133.882
P15	+	310635.470	327187.798	136.403	136.233	135.823	133.923	310633.149	327188.167	136.440	136.270	135.861	133.961	310630.384	327188.600	136.428	136.258	135.843	133.943	310628.063	327188.975	136.369	136.199	135.784	133.884
C16	-	310632.246	327167.551	136.479	136.309	135.902	134.002	310629.925	327167.921	136.506	136.336	135.929	134.029	310627.160	327168.362	136.487	136.317	135.902	134.002	310624.839	327168.733	136.429	136.259	135.844	133.944

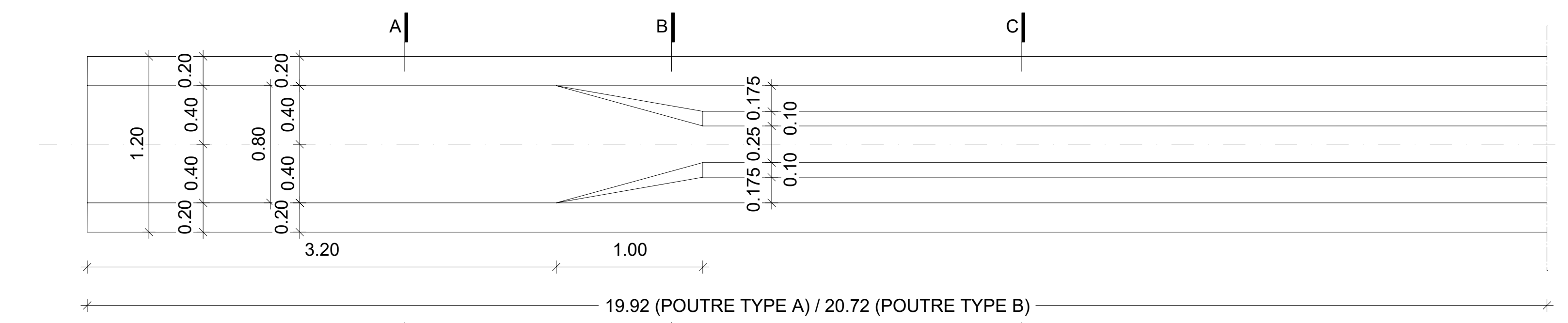
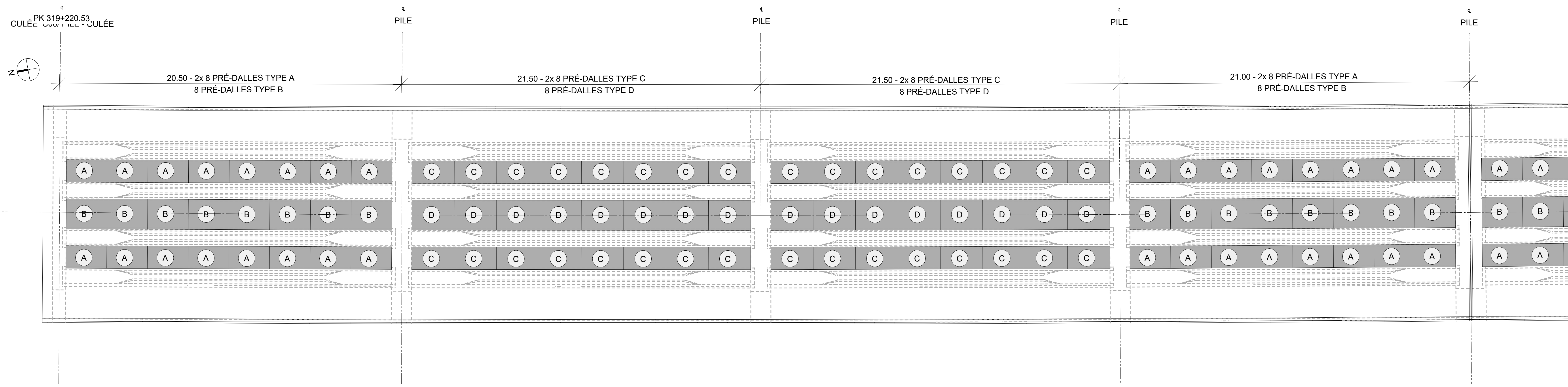
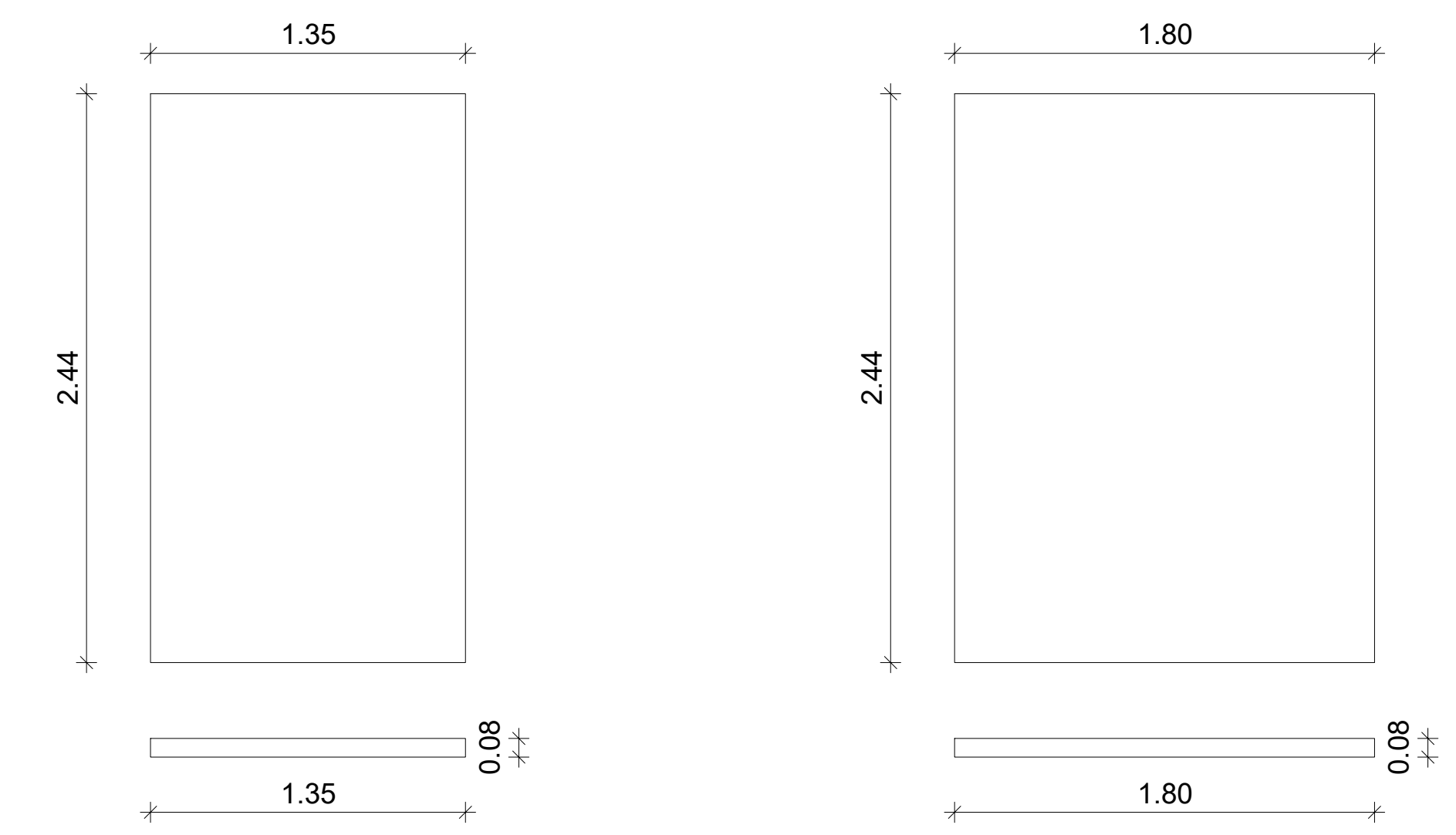


TABLEAU DES MATÉRIAUX						
BÉTONS (Ciment de type N)						
COMPOSANT	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Endossement (Norme NF EN 12601)	Norme Normes et Classes	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)	Classe de Béton (Norme NF EN 12601)
Béton de régularisation	C20/25	—	—	—	—	—
Fondations - pieux	C30/37	XC2/XA,2	70	Cl 0,40	Dmax 25	≥ S4
Fondations - semelles et semelles des pieux	C35/45	XC2/XA,2	50	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Culées	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Piles	C35/45	XC4	55	Cl 0,40	Dmax 20	≥ S3
Tablier - dalles	C40/50	XC4/XF1	40	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Poutres préfabriquées	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
Prédalle	C40/50	XC4/XF1	35	Cl 0,20	Dmax 20	≥ S3
ACIER POUR STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ						
Armatures passives	Acier en barre: FeE500B (fyk=500 MPa)					
Armatures actives	Acier en toron: T1860 S7 15,7 mm (TBR)					
ACIER POUR ÉQUIPEMENT (GARDES-CORPS) ACIER POUR						
Tubes, profilés et tôles	S235 JR (EN10027-1) Boulons et Vis Classes 8.8					
Protection anticorrosion	Catégorie de Corrosion Atmosphérique C3 (EN ISO 12944-2)					

- NOTES :**
- TOUTES LES HYPOTHÈSES RECONNUS LA PHASE DE CONCEPTION ET COMPATIBILITÉ ENTRE LES SPÉCIALITÉS DOIVENT ÊTRE CONFIRMÉES ET VALIDÉES AVANT LA PHASE DE MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX PAR LE CONSTRUCTEUR. TOUTES LES INCOMPATIBILITÉS ET INEXACTITUDES SERONT DÉTECTÉES ET CORRIGÉES.
 - TOUTE INCOMPATIBILITÉ DÉTECTÉE DANS LE PRÉSENT PROJET DEVRA ÊTRE IMMÉDIATEMENT COMMUNIQUÉE, PAR ÉCRIT, AU CONCEPTEUR.
 - LES MESURES, CÔTES ET COORDONNÉES SONT EXPRIMÉES EN MÈTRES, SAUF INDICATION CONTRAIRE.
 - TOUTES LES COTES DEVRONT ÊTRE VÉRIFIÉES SUR SITE.
 - TOUTES LES SURFACES EN BÉTON ENTERRÉES SERONT IMPERMÉABILISÉES AVEC UNE ÉMULSION BITUMINEUSE DE TYPE ECR1, CATIONIQUE À RUPTURE RAPIDE.

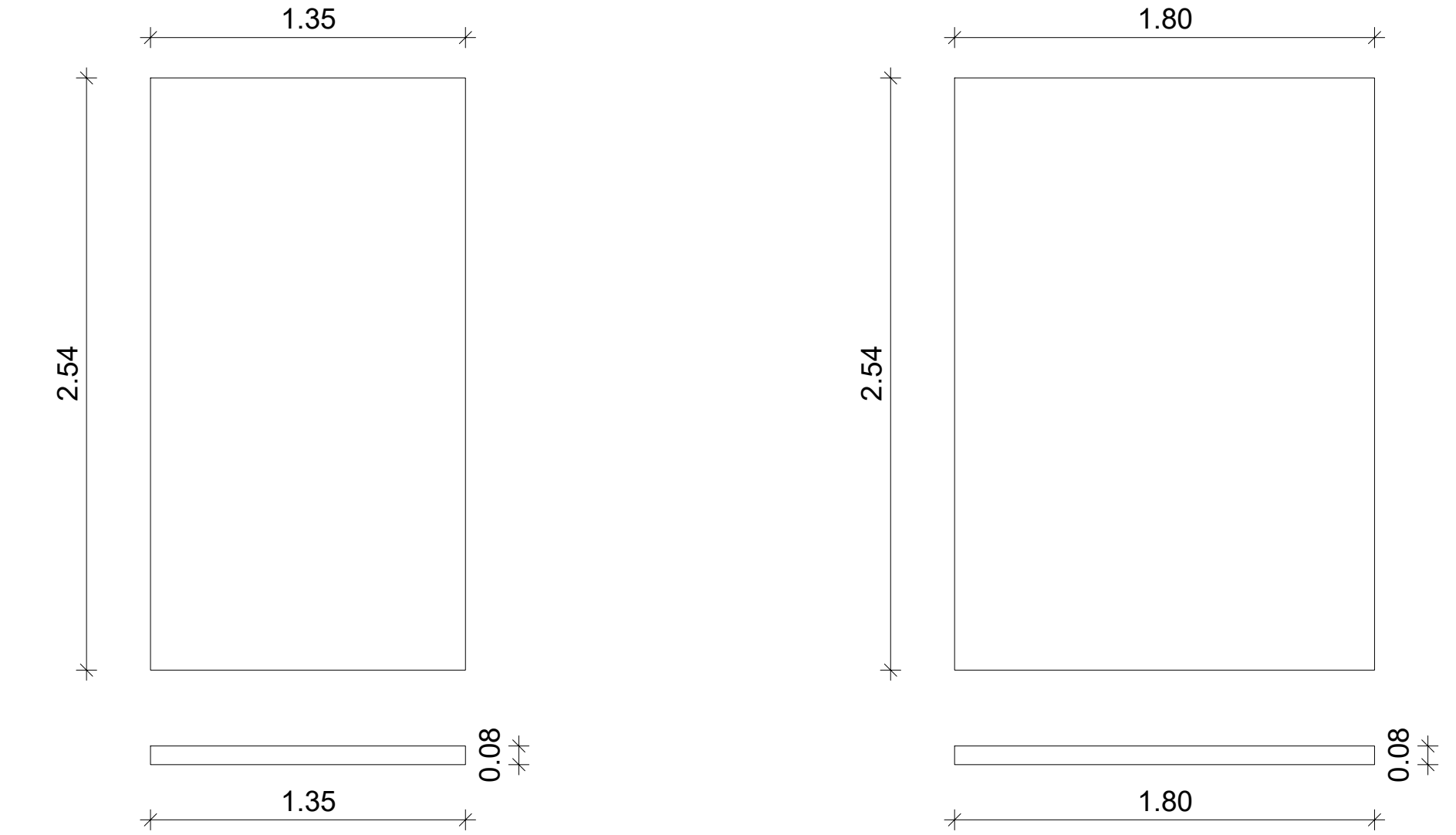


PLAN DE PRÉDALLES
ECHELLE 1:100 (A0)



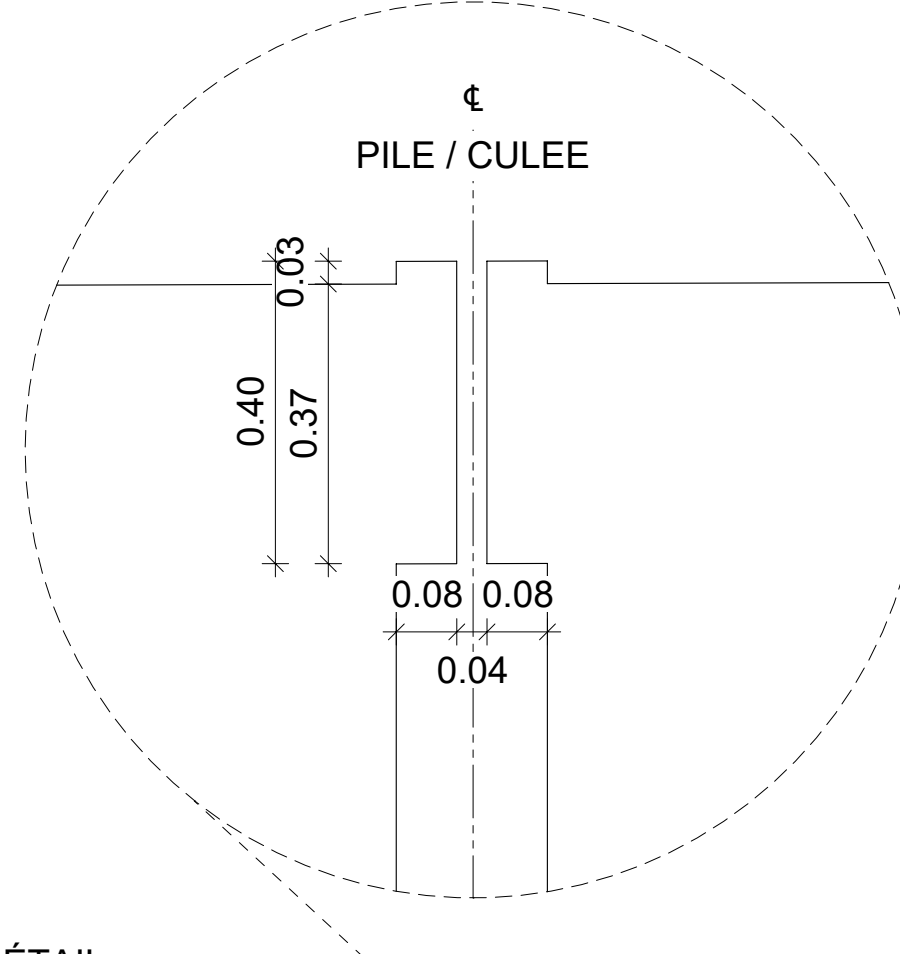
PRÉDALLES TYPE A
PORTÉES DÉXTRÉMITÉ
ECHELLE 1:25 (A0)

PRÉDALLES TYPE B
PORTÉES DÉXTRÉMITÉ
ECHELLE 1:25 (A0)

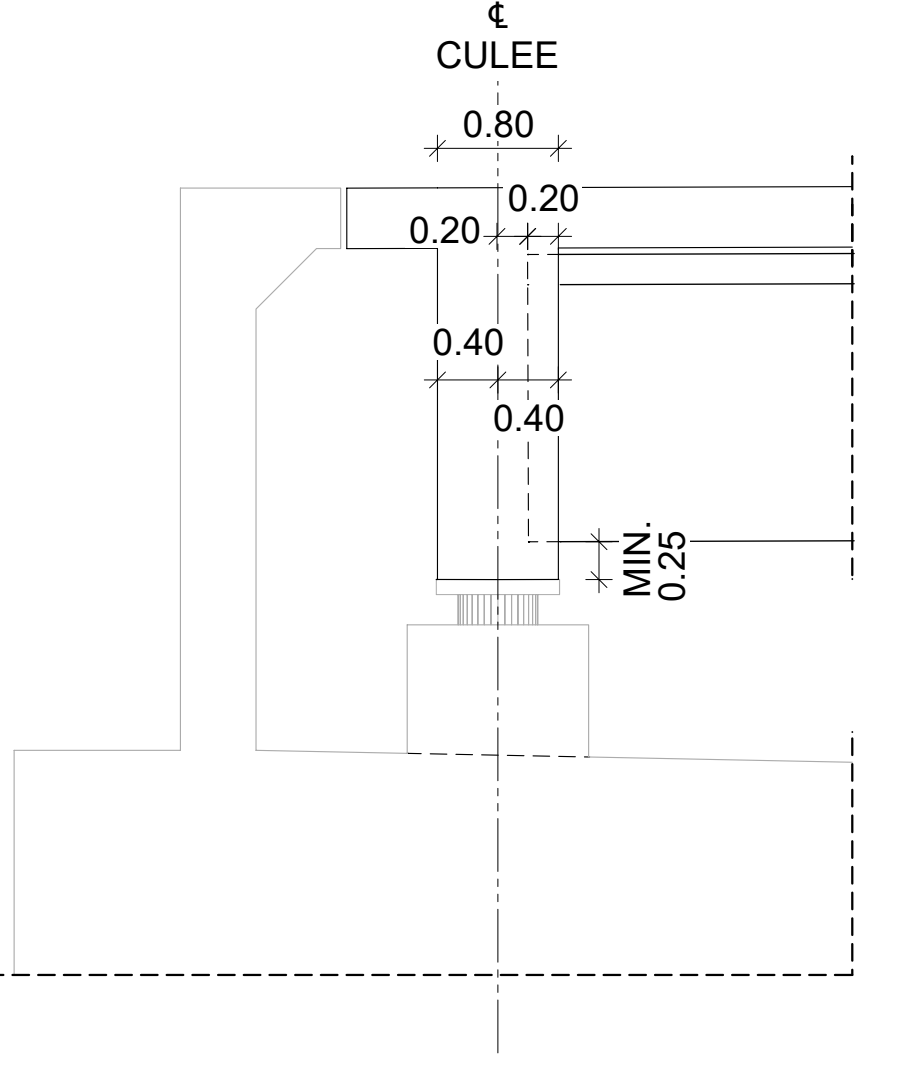


PRÉDALLES TYPE C
PORTÉES CENTRALES
ECHELLE 1:25 (A0)

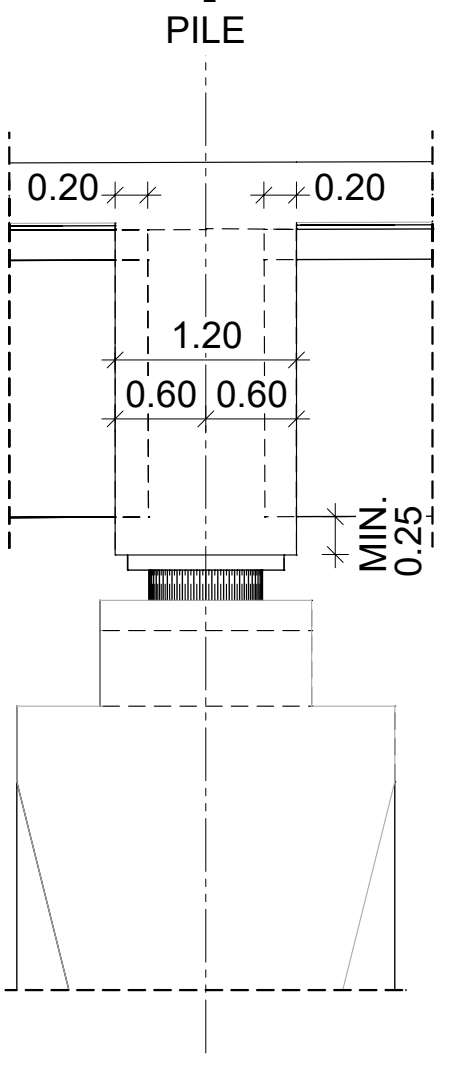
PRÉDALLES TYPE D
PORTÉES CENTRALES
ECHELLE 1:25 (A0)



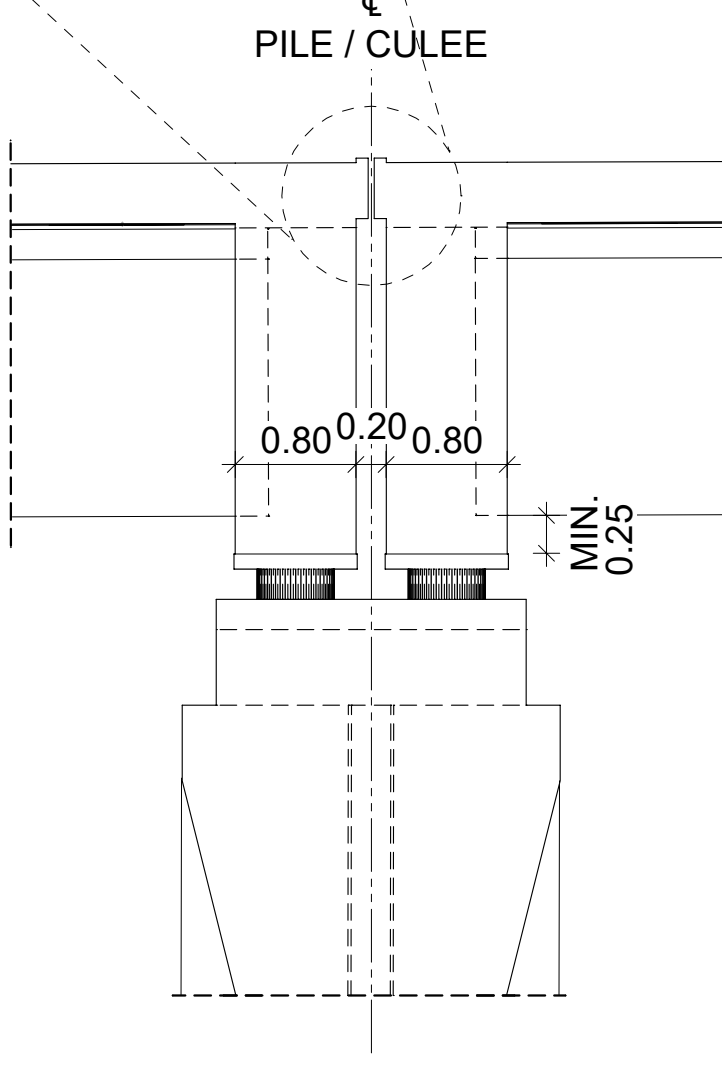
DÉTAIL
ECHELLE 1:10 (A0)



SECTION SUR LA ENTRETOISE
AUX CULÉES
ECHELLE 1:50 (A0)



SECTION SUR LA ENTRETOISE
AUX PILES
ECHELLE 1:50 (A0)



SECTION SUR LA ENTRETOISE
AUX PILES / CULEE
ECHELLE 1:50 (A0)

Indice	Date	Etabli	Vérifié	Validé	Modification - Mise à jour	MAITRE D'OUVRAGE	BUREAU D'ETUDES : GROUPEMENT	ECHELLE : INDIQUEES	DATE :
..				
..				
..				

ANEXO III – PEÇAS DESENHADAS – CASO ESTUDO 2 – DIMENSIONAMENTO DO PILAR

