



# Aplicação da metodologia Earned Value Management (EVM). Caso Prático: Viaduto de Santo Ovídio

**JOSÉ FILIPE BARBOSA PESSOA ALEIXO**

julho de 2022



**Aplicação da metodologia**  
***Earned Value Management (EVM).***  
**Caso Prático: Viaduto de Santo Ovídio**

JOSÉ FILIPE BARBOSA PESSOA ALEIXO

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO**

Orientador: Prof. Dr. José Pinto-Faria

Co-Orientador: Prof. Dr. Manuel Luís Vila-Cova Tender

Supervisor: Eng.º Percy Alberto do Nascimento Hilário (FERROVIAL Construcción)

**JULHO DE 2022**

Eu, José Filipe Barbosa Pessoa Aleixo, estudante nº 1091228, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Aplicação da metodologia Earned Value Management. – Caso Prático: Viaduto de Santo Ovídio” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2022/07/07

X

---

José Aleixo



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	v
Resumo.....	vii
Abstract .....	ix
Agradecimentos .....	xi
Índice de Texto .....	xiii
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
1 Introdução.....	1
2 Estado da Arte .....	3
3 Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) .....	23
4 Prolongamento da Linha Amarela.....	25
5 Conclusão .....	88
Referências Bibliográficas .....	91



## RESUMO

A Gestão de Projetos é uma ciência em desenvolvimento desde os primórdios da civilização e a sua correta aplicação determina o sucesso ou fracasso de um Projeto.

Numa era onde a competitividade do setor da construção civil é cada vez maior, e os requisitos dos clientes aumentam exponencialmente derivado de uma expectativa que está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento das técnicas de construção e do estado económico do país, cabe às organizações implementar técnicas e ferramentas que permitam acompanhar este desenvolvimento.

O *Earned Value Management* (EVM) é uma das ferramentas que permite às organizações atingir o sucesso de um empreendimento, que é expectável por qualquer cliente desde a data de adjudicação até ao término do mesmo. Esta metodologia considerada pelo Project Management Institute (PMI) como uma mais-valia nos processos de monitorização e controlo, particularmente na Gestão de Tempo e Custos, é o objeto de foco do presente Relatório.

Neste Relatório aborda-se o EVM, as suas métricas e os indicadores que esta ferramenta permite obter. Através destes indicadores é possível que as organizações avaliem a performance do Projeto e tomem medidas sempre que esta se encontre abaixo do desejável. Com o recurso a esta ferramenta foi feita a avaliação do Projeto do Viaduto de Santo Ovídio, obra inserida no empreendimento da Linha Amarela do Metro do Porto. Este empreendimento adjudicado ao Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) constituído pela Ferrovial e pela Alberto Couto Alves foi onde se desenvolveu o estágio curricular que está na génese do Relatório.

Como em qualquer obra, é imperativa a necessidade da organização efetuar um controlo de custo e tempo que permita identificar atempadamente qualquer desvio e aplicar as medidas necessárias para os mitigar.

Os resultados apresentados são de teor académico e não poderão ser considerados como estado real do Projeto, no entanto, a sua análise demonstra a importância do uso do EVM num empreendimento desta envergadura.

**Palavras-chave:** EVM, PMI, Gestão de Projetos, Gestão de Tempo, Gestão de Custos.



## **ABSTRACT**

Project Management has been a developing science since the beginning of civilization and its correct application dictates the success or failure of a Project.

In an age where the competitiveness of the construction industry grows by the day and the requirements of clients increase exponentially due to the expectations that are directly connected to the development of new construction techniques and the economic state of the country, it is up to organizations to implement techniques and tools that allow them to keep up with this development.

The Earned Value Management (EVM) is a tool that allows organizations to achieve the success of a Project, which is expected by any client from the bidding process to Project delivery. This methodology, considered by the Project Management Institute (PMI) has an added value in the monitorization and control process, particularly in Time and Cost Management, is the subject of study of this Report.

Throughout this Report, the Earned Value Management, its metrics and indexes will be explained. Through the obtained indexes it is possible for organizations to evaluate the performance of the Project and define strategies to improve its behavior.

This tool will also be used to evaluate the Viaduto de Santo Ovídio which is part of the Project Linha Amarela do Metro do Porto. This Project has been allocated to the Joint-Venture Ferrovia and Alberto Couto Alves where the author of this report undertook his internship.

Moreover, as in any other Project, it is noted the added need of an effective Time and Cost control by the organization in order to identify, as earlier as possible, any deviation and implement corrective measures.

Any result presented in this Report is purely academic and cannot be interpreted as the actual state of the Project, however, its analysis will show the importance of the use of EVM in a Project of this size.

**Keywords:** EVM, PMI, Project Management, Time Management, Cost Management.



## **AGRADECIMENTOS**

Com a conclusão de mais uma etapa académica, não poderia deixar de agradecer às diversas pessoas que estiveram presentes e que me ajudaram a crescer e ultrapassar os vários obstáculos presentes neste mestrado.

Em primeiro, o meu mais sincero obrigado ao Prof. Dr. José Pinto Faria e ao Prof. Dr. Manuel Tender por toda a disponibilidade e conselhos prestados durante o desenvolvimento deste Relatório. Também ao Prof. Dr. Manuel Tender por me providenciar a oportunidade de ingressar no Projeto da Linha Amarela do Metro do Porto.

A toda a equipa do ACE, em particular aos Engenheiros Alberto Hilário, Bruno Machado, Artur Patrão, Elvira Gonzalez, Diana Gonçalves e Pedro Alves, pela oportunidade de desenvolver este Relatório no Projeto da Linha Amarela do Metro do Porto e pelo tempo disponibilizado para me aconselhar durante o desenvolvimento deste documento e no decorrer do estágio curricular.

A todos os meus colegas do ISEP que estiveram comigo durante as longas jornadas de estudo, em particular ao Engenheiros Bruno Pereira e António Guedes, que foram parte integrante do meu sucesso académico.

Aos meus pais, nada seria possível sem vocês, o meu mais sincero obrigado, o vosso apoio incondicional e conselhos assertivos fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

Às minhas irmãs Patrícia e Catarina, que nos momentos mais difíceis estão sempre presentes para me apoiar e aconselhar. Deixo um agradecimento particular à minha irmã Catarina que no momento decisivo me deu o empurrão necessário a tomar a decisão correta.

À Ana Rita Ribeiro pelo amor, companheirismo e acima de tudo paciência para me aturar nas horas mais difíceis; sei que não foi fácil.

Não posso deixar de mencionar, o meu irmão, cunhado, sobrinhos e sogra.

A todos vocês um Muito Obrigado!



# ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução .....	1
2	Estado da Arte .....	3
2.1	Gestão de Projetos .....	3
2.1.1	Enquadramento Histórico .....	3
2.1.2	A Era Moderna da Gestão de Projetos .....	4
2.1.3	The Project Management Body of Knowledge (PMBOK) .....	5
2.2	<i>Earned Value Management (EVM)</i> .....	9
2.2.1	Métricas-base do EVM .....	11
2.2.2	Indicadores de Estado .....	15
2.2.3	Indicadores de Desempenho.....	18
2.2.4	Indicadores de Previsão .....	21
3	Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) .....	23
3.1.1	Alberto Couto Alves (ACA) Engenharia e Construção .....	23
3.1.2	Ferrovial Construcción SA (FERROVIAL) .....	23
3.1.3	ACE Ferrovial Construcción e ACA Engenharia e Construção .....	24
4	Prolongamento da Linha Amarela.....	25
4.1	Projeto do Viaduto de Santo Ovídio.....	30
4.1.1	Via de Resguardo em Trincheira (VRT).....	31
4.1.2	Viaduto de Acesso Norte (VAN) .....	35
4.1.3	Viaduto de Santo Ovídio (VSO) .....	41

4.2	EVM – Aplicação e Avaliação de Resultados .....	53
4.2.1	Metodologia de investigação .....	53
4.2.2	Balizamento Março 2022 .....	54
4.2.3	Balizamento Abril 2022 .....	66
4.2.4	Balizamento Maio 2022 .....	75
4.2.5	Análise Global.....	85
5	Conclusão .....	88
5.1	Conclusões Gerais .....	88
5.2	Desenvolvimentos futuros .....	90
	Referências Bibliográficas .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Ciclo de vida do Projeto .....	6
Figura 2-2 Perspetivas do ciclo de vida de um Projeto .....	6
Figura 2-3 - Representação do Planned Value (PV) .....	12
Figura 2-4 – Representação do Earned Value (EV).....	12
Figura 2-5 - Representação do Actual Cost .....	13
Figura 2-6 - Representação do Earned Schedule .....	14
Figura 2-7 - Representação do Budget at Completion.....	14
Figura 2-8 - Representação do Schedule at Completion (SAC) .....	15
Figura 2-9 - Representação do Schedule Variance (SVw) .....	16
Figura 2-10 - Representação do Schedule Variance (SVt).....	17
Figura 2-11 - Representação do Cost Variance (CV) .....	18
Figura 2-12 - Schedule Performance Index ( $SPI_w$ ) .....	19
Figura 2-13 - Schedule Performance Indicator ( $SPI_t$ ) .....	20
Figura 2-14 - Cost Performance Index (CPI) .....	21
Figura 2-15 - Indicadores de Previsão.....	22
Figura 3-1 - Planta de Implantação Prolongamento da Linha Amarela .....	25
Figura 3-2 - Planta Geral Traçado Subterrâneo.....	26
Figura 3-3 - Planta de Implantação Estação Manuel Leão .....	27
Figura 3-4 - Planta Geral Estação Hospital Santos Silva .....	28
Figura 3-5 - Planta de Localização de Acesso ao PMO .....	29

Figura 3-6 - Planta Geral PMO.....	29
Figura 3-7 – Planta ao nível do tabuleiro Projeto Viaduto Santo Ovídio .....	30
Figura 3-8 - Planta ao nível do tabuleiro Via de Resguardo em Trincheira.....	31
Figura 3-9 - Perfil Transversal do VRT .....	32
Figura 3-10 - Condicionante VRT.....	32
Figura 3-11 - Secção transversal do VRT .....	33
Figura 3-12 - Corte Longitudinal VRT .....	33
Figura 3-13 -- Planta ao nível do tabuleiro Via de Resguardo em Trincheira .....	35
Figura 3-14 - Corte Longitudinal VAN.....	36
Figura 3-15 - Alçado Lateral Encontro E1.....	37
Figura 3-16 - Pilar P3N.....	38
Figura 3-17 - Travessa P3N e localização de Aparelhos de Apoio.....	38
Figura 3-18 - Secção transversal VAN.....	39
Figura 3-19 - Secção Transversal do Tabuleiro VAN.....	39
Figura 3-20 - Viaduto de Santo Ovídio .....	42
Figura 3-21 - PT1 Pré-esforço e Aparelhos de Apoio .....	42
Figura 3-22- Pilar P4 .....	43
Figura 3-23 - Corte Longitudinal Encontro 7 .....	44
Figura 3-24 - Secção transversal e alçado da estrutura metálica do VSO.....	44
Figura 3-25 - Planta de Implantação do Parque de Deslize .....	45
Figura 3-26 - Planta de Identificação de Postos de Trabalho.....	46
Figura 3-27 - Fase de lançamento 12.1 .....	46
Figura 3-28 - Localização da Torres Provisórias .....	47
Figura 3-29 - Trabalhos de Demolição VRT .....	54
Figura 3-30-Encontro E1.....	55
Figura 3-31 - Aterro Pilar maciço de fundação P1N .....	56

Figura 3-32 - Maciço de Fundação Pilar P2N.....	56
Figura 3-33 - Armadura Fase 1 Pilar P3N .....	57
Figura 3-34 - Coffragem Fase1 Pilar PT1 .....	58
Figura 3-35- Execução de Muro de Berlim Pilar P2 .....	58
Figura 3-36 - Armadura Fase 1 e 2 Pilar P3 .....	59
Figura 3-37 - Armadura do maciço de fundação Pilar P4.....	60
Figura 3-38 - Pilar P5 .....	61
Figura 3-39 - Maciço de fundação Pilar P6.....	62
Figura 3-40 - Impermeabilização Encontro E7 .....	63
Figura 3-41 - Parque de Deslize.....	63
Figura 3-42 - Schedule Performance Index (t) março 2022 .....	64
Figura 3-43 – Earned Schedule 18 março 2022.....	65
Figura 3-44 - Cost Performance Index março 2022 .....	66
Figura 3-45- Montagem do cimbri tabuleiro VRT .....	66
Figura 3-46 - Armadura dos muros laterais do Encontro 1.....	67
Figura 3-47 - Montagem de Andaime Pilar P2N.....	68
Figura 3-48 – Execução de Armadura Fase 1 e 2 Pilar P3N.....	68
Figura 3-49 - Betonagem Fase 3 capitel PT1 .....	69
Figura 3-50 - Armadura maciço de fundação P2.....	70
Figura 3-51 - Betonagem fuste fase 3 Pilar P3 .....	70
Figura 3-52 - Execução da armadura do fuste fase 1 e 2 Pilar P4 .....	71
Figura 3-53 - Betonagem maciço de arranque Pilar P6.....	72
Figura 3-54 - Execução de muro de alvenaria. Encontro E7 .....	72
Figura 3-55 - Montagem Parque de Deslize .....	73
Figura 3-56 - Schedule Performance Index (t) abril 2022 .....	74
Figura 3-57 - Earned Schedule 22 abril 2022 .....	74

Figura 3-58 - Cost Performance Index abril 2022.....	75
Figura 3-59 - Aplicação de camada de regularização do tabuleiro do VRT.....	76
Figura 3-60 - Encontro E1.....	76
Figura 3-61 - Pilar P1N Montagem de andaime.....	77
Figura 3-62 - Cofragem Pilar P2N.....	77
Figura 3-63 - Pilar P3N.....	78
Figura 3-64 - Pilar PT1.....	79
Figura 3-65 - Armadura do fuste fase 1 Pilar P2.....	79
Figura 3-66 - Pilar P3.....	80
Figura 3-67 - Restabelecimento da armadura do Fuste Pilar P4.....	81
Figura 3-68 - Cofragem 3 fase capitel P6.....	81
Figura 3-69 - Hidrodemolição no Encontro E7.....	82
Figura 3-70 - Parque de Deslize maciço de reação e plataforma de descarga.....	83
Figura 3-71 - Schedule Performance Index (t) maio 2022.....	83
Figura 3-72 - Earned Schedule 30 de maio 2022.....	84
Figura 3-73 - Cost Performance Index maio 2022.....	85
Figura 3-74 - Análise Global SPI(t).....	85
Figura 3-75 - Análise Global CPI.....	86

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 – Áreas de Conhecimento .....	7
Tabela 2-2 Mapa de Processos e Áreas de Conhecimento .....	8
Tabela 2-3 Relação entre as três dimensões do Projeto e o seu balizamento .....	11
Tabela 3-1 - <i>Work Breakdown Structure</i> (WBS) VRT .....	34
Tabela 3-2 - WBS VAN .....	40
Tabela 3-3 - WBS VSO.....	48



# 1 INTRODUÇÃO

Num estado atual de crise pandémica que tem afetado a economia nacional e mundial, o setor de construção em Portugal não ficou indiferente, demonstrando, no entanto, alguma resiliência. De acordo com o relatório de estatísticas da construção e habitação do Instituto Nacional de Estatísticas (INE), no ano de 2020, ocorreu um decréscimo do número de licenciamentos de obras face ao ano de 2019, existindo, no entanto, um aumento do número de edifícios concluídos e até mesmo um aumento da taxa de emprego dentro do setor.

Ainda não são conhecidos os dados estatísticos referente ao ano económico de 2021, mas sabe-se que, em fevereiro de 2021, foi aprovado pelo Governo a Estratégia Portugal 2030 onde estão inseridos os Planos de Recuperação e Resiliência (PRR) nacionais, que irão atingir um investimento no país de 50 mil milhões de euros em diversos setores, incluindo o da construção.

Com um crescimento previsível no setor é importante notar que a quantidade e a qualidade das propostas apresentadas na fase de concurso, assim como os requisitos dos clientes durante todo o processo de vida do Projeto, serão cada vez maiores. É deste modo imperativo que as organizações adotem técnicas de gestão de Projetos, que lhes permitam atingir os objetivos expectáveis pelos clientes, principalmente no cumprimento de prazos e custos, sem descuidar os requisitos de qualidade.

Dentro das diversas técnicas de gestão conhecidas e valorizadas pelos profissionais da área e pelas organizações, que têm como objetivo o desenvolvimento da arte de Gestão de Projetos, o *Earned Value Management* é uma ferramenta que faz parte integrante do processo de monitorização e controlo, e que é essencial no sucesso de um Projeto.

A temática do presente Relatório está inserida no estágio curricular a ser desenvolvido no Projeto - Linha Amarela do Metro do Porto, particularmente na frente de obra do viaduto de Santo Ovídio, a ser executada pelo agrupamento complementar de empresas (ACE) constituído pela FERROVIAL Construcción e pela ACA Engenharia e Construção.

O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo principal a análise da frente de obra do viaduto de Santo Ovídio, aplicando o *Earned Value Management*, conceito abordado no

## CAPÍTULO 1

PMBOK® Guide (6th *Edition*), PMBOK® Guide - Construction Extension (3<sup>rd</sup> Edition) e Standard for *Earned Value Management* da PMI (2019).

O Relatório encontra-se dividido em quatro capítulos conforme abaixo descritos:

- Primeiro capítulo – Introdução ao tema, incluindo principal objetivo e estrutura do Relatório.
- Segundo capítulo – Neste capítulo é abordado o estado da arte do tema do presente Relatório, desde o seu enquadramento histórico, à análise aprofundada do *Earned Value Management* e as suas respetivas métricas.
- Terceiro capítulo - Apresentação das empresas onde se inseriu o estágio curricular
- Quarto capítulo – Será feita a introdução ao caso prático do Projeto da Linha Amarela do Metro do Porto, incluindo o Viaduto de Santo Ovídio. No decorrer deste capítulo, serão também apresentadas a metodologia de investigação, o progresso do Projeto no decorrer do estágio curricular e os resultados da análise através da ferramenta do *Earned Value Management*.
- Quinto capítulo – Conclusões finais e disposições futuras.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 GESTÃO DE PROJETOS

#### 2.1.1 Enquadramento Histórico

De acordo com as definições do *Project Management Institute* (PMI), um Projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto serviço ou resultado exclusivo, e a gestão de Projeto é a aplicação de habilidades, conhecimentos, ferramentas e técnicas nas atividades da iniciativa, com o objetivo de satisfazer os seus requisitos. Podemos, assim, concluir que a gestão de Projetos tem sido aplicada desde os primórdios da civilização. (Seymour & Hussein, 2014).

Em 2010 Chiu Y.C. publica a sua investigação sobre a história de gestão de Projetos, onde são analisados diversos dados históricos que permitem indiciar a génese da gestão de Projetos desde o antigo Egipto, na construção das Pirâmides de Gizé (2580 A.C), e sendo aplicada ao longo das eras em Projetos como a construção do templo de Ziggurat of Ur na Mesopotâmia (2100 A.C), Torre da Babilonia (600 A.C.) e muitos outros que fazem parte do património cultural mundial.

No entanto, a gestão de Projetos só passa a ser uma disciplina de estudo entre o final do século XIX e o início do século XX, sendo considerado por Chiu (2010) que os seus grandes impulsionadores foram Henri Fayol e Henry Gantt.

De acordo com Chiu a grande contribuição de Fayol no âmbito da gestão foi a definição das cinco principais funções de um gestor, nomeadamente, planear, organizar, comandar, coordenar e controlar, teoria corroborada por Silva C. (2014) e Rue e Byars (1997).

Henry Gantt, por sua vez, foi fundamental no desenvolvimento do conhecido gráfico de Gantt, que foi criado pelo engenheiro polaco Karol Adamiecki em 1890. Adamiecki e Gantt reconheceram que Projetos de larga escala eram feitos de pequenas atividades que estavam ligadas entre si. Segundo Wilson J (2003), não é possível datar ao certo o início do uso do gráfico de Gantt, no entanto, diversos autores, tais como Darmody (2007), Chiu (2010) e Seymour &

## CAPÍTULO 2

Hussein (2014) apontam que o seu primeiro uso tenha sido durante a primeira guerra mundial e destacam o seu uso posterior na construção de Hoover Dam.

### **2.1.2 A Era Moderna da Gestão de Projetos**

Não obstante de todos os Projetos executados desde os tempos antigos, teorias e fundamentos publicados até meio do século XX, segundo Stretton A (2007), Seymour & Hussein (2014) e Morris P. (2013), a era moderna da gestão de Projetos tem início na década de 1950. Segundo Morris P. (2013) o termo gestão de Projetos começa a ser usado entre 1952 e 1953 pelo setor militar aeroespacial dos Estados Unidos da América; já Stretton A. (2007) indica que entre 1951 e 1953 a empresa Bechtel esteve envolvida na execução da “Transmountain Oil Pipeline” no Canada na função de gestor de Projeto. No entanto, segundo Abbassi e Jafaari (2017) o verdadeiro início desta era ocorre em 1958 com o desenvolvimento do “*Critical Path Method*” (CPM) e o “*Project Evaluation Review Technique*” (PERT), teoria também defendida por Seymour & Hussein (2014).

Durante a década de 1960 existiram grandes desenvolvimentos a nível tecnológico que permitiram a evolução das ferramentas da gestão de Projeto. É também neste período que são criadas as primeiras organizações de gestão de Projetos. Fundada em 1967 a International Project Management Association (IPMA), que começou com o nome de International Network (Internet), só passando a designar-se por IPMA na década de 1990, é a primeira associação de gestores de Projetos a nível mundial. Do outro lado do oceano Atlântico os Americanos Jim Snyder e Gordon Davis verificaram a necessidade de criar um fórum onde gestores de Projetos pudessem partilhar as melhores práticas da área, e em 1969 fundaram o Project Management Institute (PMI) que é vastamente reconhecido pela sua publicação do The Project Management Body of Knowledge (PMBOK), publicado pela primeira vez em 1996 e subsequentemente atualizado até à sua última edição em 2021.

Ainda na mesma década o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América identifica uma lacuna no controlo dos seus Projetos e respetivos orçamentos, sendo assim criada a técnica do Earned Value Management (Buyse & Vandenbussche, 2009), que será foco de estudo do presente documento.

De acordo com Cardoso (2016), esta técnica previamente denominada de Cost Schedule Control Systems Criteria (C/SCSC), foi utilizada com sucesso em grandes Projetos públicos, mas devido à sua complexidade, não seria aplicada em Projetos do setor

privado até à década de 90. É nesta década que esta ferramenta é simplificada e se passa a denominar de EVM.

Durante as décadas seguintes, a constante evolução tecnológica e criação de softwares de gestão de Projetos foram essenciais no desenvolvimento da disciplina. O desenvolvimento de metodologias como o Project in Control Environments (PRINCE), que mais tarde foi atualizado para PRINCE 2, Critical Change Project Management (CCPM), Total Cost Management (TCM), continuam a revolucionar a indústria, demonstrando a imperatividade da gestão de Projetos na construção.

### **2.1.3 The Project Management Body of Knowledge (PMBOK)**

Desenvolvido pela Project Management Institute (PMI), este guia de conhecimento sobre gestão de Projetos (PMBOK Guide) é um acumulado de práticas tradicionais comprovadas e amplamente aplicadas, bem como práticas inovadoras que vão sendo introduzidas na área de gestão de Projetos. O guia PMBOK é uma base sobre a qual as organizações podem criar metodologias, políticas, procedimentos, regras, ferramentas e técnicas e fases do ciclo de vida necessários para a prática de gestão de Projetos (PMBOK® Guide - 6<sup>th</sup> Edition).

Em 2003, a Project Management Institute (PMI) publica a primeira edição de um Guia de Conhecimentos para Gestão de Projetos para a Construção (Construction Extension to the PMBOK Guide®) que tem sido atualizada com cada revisão do PMBOK. Esta extensão do PMBOK providencia informação complementar sobre ferramentas e boas práticas para Projetos de Construção (PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition).

De acordo com Pinto Faria (2020), um Projeto de construção é um empreendimento temporário (com início e fim definido) levado a efeito com o objetivo de produzir um produto ou serviço único, utilizando determinados recursos humanos, financeiros e físicos.

De acordo com o PMBOK® Guide - 6<sup>th</sup> Edition todos os Projetos têm um ciclo de vida, que é a série de fases pelas quais este passa, do início à sua conclusão, teoria corroborada por Savkint & Danielsson (2021). Este ciclo é dividido em 4 fases, conforme demonstrado na Figura 2-1.

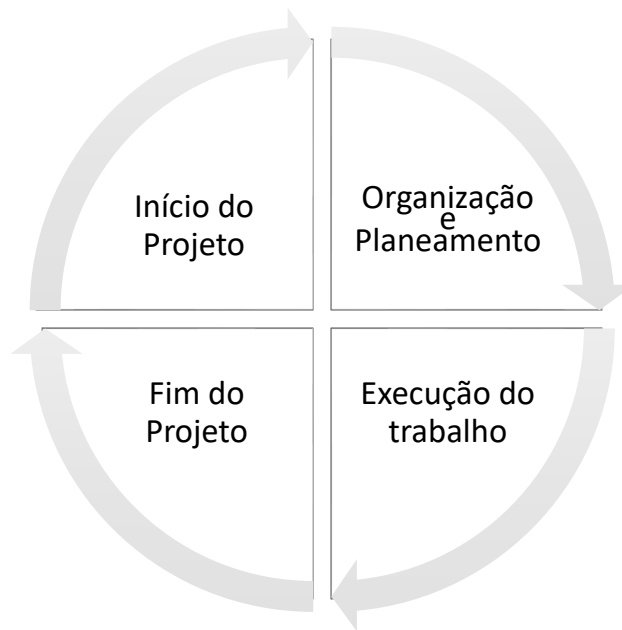


Figura 2-1 - Ciclo de vida do Projeto

De acordo com o PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition o ciclo de vida de um Projeto depende do ponto de vista do utilizador (Figura 2-2), isto é, do ponto de vista do Dono de Obra (Cliente); o ciclo de vida do Projeto começa quando a decisão formal de fazer o Projeto é tomada.

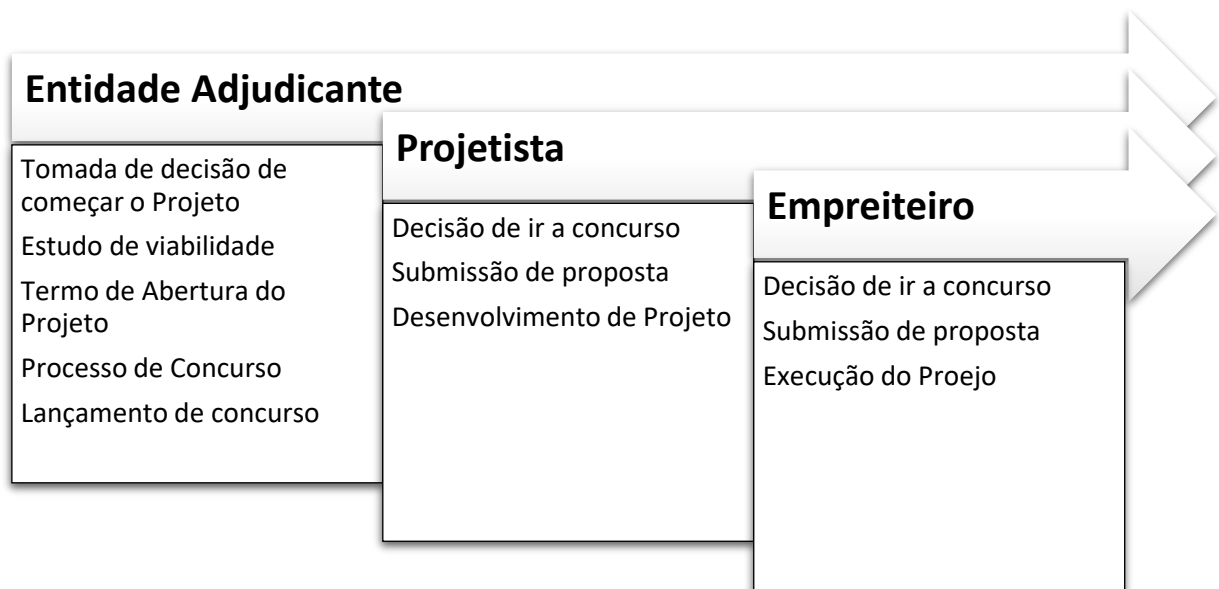


Figura 2-2 Perspetivas do ciclo de vida de um Projeto

(Adaptado de PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition)

Já no caso do Empreiteiro (Entidade Executante), o ciclo de vida começa quando a decisão de entrar em concurso para a empreitada é tomada. O mesmo conceito é aplicado no caso dos projetistas. Poderá ainda ocorrer o cenário onde projetista e empreiteiro serem a mesma entidade, ou seja, estarmos perante um processo *design and build*, conceção-construção, conceito que não irá ser abordado neste documento por se encontrar fora do âmbito do presente trabalho.

O PMBOK® Guide 6<sup>th</sup> Edition define cinco grupos de processos, que podem estar presentes nas diferentes fases do ciclo de vida de um Projeto, sendo estes:

- Processos de iniciação;
- Processos de planeamento;
- Processos de execução;
- Processos de monitorização e controlo;
- Processos de encerramento

Neste guia são também definidas dez áreas de conhecimento que serão aplicadas nos diferentes processos supracitados. O PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition vem acrescentar duas às dez mencionadas, perfazendo assim doze áreas de conhecimento (Tabela 2-1).

Tabela 2-1 – Áreas de Conhecimento

PMBOK® Guide 6 <sup>th</sup> Edition	PMBOK® Guide – Construction Extension 3 <sup>rd</sup> Edition
1. Gestão da Integração;	11. Gestão de Higiene, Saúde, Segurança e Ambiente;
2. Gestão do Âmbito;	12. Gestão Financeira.
3. Gestão do Tempo;	
4. Gestão de Custo;	
5. Gestão da Qualidade;	
6. Gestão de Recursos;	
7. Gestão das Comunicações;	
8. Gestão do Risco;	
9. Gestão de Compras;	
10. Gestão de Partes Interessadas;	

O PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition providencia ainda a relação entre os processos e as áreas de conhecimento, conforme se pode verificar na Tabela 2-2.

Tabela 2-2 Mapa de Processos e Áreas de Conhecimento

(Adaptado de PMBOK® Guide – Construction Extension 3rd Edition)

Áreas de Conhecimento	Grupos de Processos da Gestão de Projetos				
	Processos de iniciação	Processos de planeamento	Processos de execução	Processos de monitorização e controlo	Processos de encerramento
Gestão das Integração	X	X	X	X	X
Gestão do Âmbito		X		X	
Gestão do Tempo		X		X	
Gestão de Custo		X		X	
Gestão da Qualidade		X	X	X	
Gestão de Recursos		X	X	X	X
Gestão das Comunicações		X	X	X	
Gestão do Risco		X		X	
Gestão de Compras		X	X	X	X
Gestão de Partes Interessadas	X	X	X	X	
Gestão de Higiene, Saúde, Segurança e Ambiente		X	X	X	
Gestão Financeira		X		X	

Pode assim concluir-se que nas diferentes fases de vida de um Projeto existem cinco grupos processos. Processos estes, onde diferentes áreas de conhecimento devem ser aplicadas de forma a atingir uma gestão eficaz e eficiente de um projeto.

### 2.1.3.1 Grupo de Processos de Monitorização e Controlo

Dentro do grupo de processos de Monitorização e Controlo podemos verificar que uma das áreas de conhecimento que interceta é a Gestão de Custos.

O controlo e a monitorização dos custos providenciam um mecanismo para o acompanhamento dos custos do Projeto para garantir a sua conclusão dentro do orçamento previsto. Estes

processos são ferramentas imprescindíveis para o sucesso do Projeto (PMBOK® Guide – Construction Extension 3<sup>rd</sup> Edition).

Nesta temática encontra-se a metodologia do *Earned Value Management* (EVM). O foco de estudo do presente documento será a aplicação desta metodologia durante a fase de execução do Projeto, na ótica do empreiteiro. Por este motivo, mais nenhuma fase, processo ou área de conhecimento serão aprofundados.

## **2.2 EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM)**

A base desta metodologia também conhecida como Gestão do Valor Agregado (GVA) é mitigar os riscos associados aos custos de um Projeto. Más notícias nunca melhoram com o tempo, quanto mais cedo for conhecido o problema num Projeto, mais cedo é possível atuar. (Fleming & Koopleman, 2002).

O PMI define *Earned Value Management* como um método de gestão de Projeto que se baseia no âmbito, prazo e custo inicial, para a avaliação do desempenho de um Projeto durante o seu desenvolvimento (PMI, 2008).

Durante uma investigação efetuada por Song em 2010, sobre a aplicação global do EVM, é concluído que as contribuições a nível mundial do EVM e a sua efetividade na gestão de custos é reconhecida, independentemente da Indústria, aplicação ou país.

A publicação do Standard for *Earned Value Management* da PMI (2019) veio incorporar o *Earned Schedule*, teoria de Lipke (2003) que possibilita a avaliação da performance do cronograma do Projeto em unidades de tempo (Lipke 2009). Pode assim constatar-se que o conceito do EVM foi expandido, embora, o termo continue com a sua abordagem tradicional relacionada ao controlo de custos do Projeto, incorporando agora metodologias novas que permitem ao utilizador controlos de tempo mais rigorosos (PMI 2019).

Segundo Pinto Faria (2020), PMI (2019) e Farinha (2013), quando usada eficazmente, esta ferramenta deverá responder a diversas questões, algumas das quais são abaixo descritas.

- O Projeto está adiantado, ou atrasado, em relação ao cronograma?
- O tempo disponibilizado está a ser usado eficientemente?
- Quando é que o Projeto será concluído?
- O Projeto está abaixo, ou acima, do orçamento?
- Os recursos estão a ser usados eficientemente?

## CAPÍTULO 2

- Quanto, provavelmente, vai custar o trabalho que falta executar?
- Quanto, provavelmente, vai custar o Projeto?
- O Projeto ficará acima ou abaixo do orçamento?

A resposta a estas perguntas, quando obtidas regularmente no decorrer de um Projeto, vêm corroborar a afirmação de Fleming & Koopleman (2002): caso exista alguma discrepância entre o planeado e o que está a ser executado, então deverá ser identificada o mais cedo possível, para que se possam tomar medidas e mitigar essa variação.

Segundo Rodrigues (2012), este método é baseado em dois princípios fundamentais: integrar o âmbito, prazo e orçamento, e aferição independente do custo, progresso físico e prazos.

Brandão (2016) descreve os requisitos mínimos para aplicação do EVM:

- Estrutura Analítica do Projeto (EAP), também conhecida como *Work Breakdown Schedule* (WBS);
- Definição das atividades;
- Duração e calendarização das atividades;
- Custos planeados para as atividades;
- Custo real de cada atividade.

No entanto, Rodrigues (2012) explica mais detalhadamente que estes requisitos por si só não são suficientes para que este método seja bem implementado. É fundamental que exista, não só comprometimento e adesão de todas as Partes Interessadas, mas também que o período utilizado para a medição do progresso físico seja idêntico, ou mais curto, que o período de revisão do plano de trabalhos. O mesmo autor explica ainda que o modelo matemático de análise do EVM deve ser adaptado à realidade do Projeto e que os resultados desta análise devem dar lugar a mapas de análise e *dashboards* que devem ser divulgados às pessoas de interesse do Projeto.

Em suma, quando bem implementada, esta metodologia cria uma relação entre as três dimensões do Projeto (Âmbito, Cronograma e Orçamento) e o seu balizamento, conforme descrito por Pinto Faria (2020) Tabela 2-3.

Tabela 2-3 Relação entre as três dimensões do Projeto e o seu balizamento  
(Adaptado de Sebenta de Gestão de Empreendimentos 2020/2021 – José Pinto Faria)

	Âmbito	Cronograma	Orçamento
Plano	O quê?	Quanto tempo demora?	Quanto custa?
Progresso	Quantas tarefas foram concluídas?	Quanto tempo foi gasto para as tarefas concluídas?	Quanto foi gasto para executar as tarefas concluídas?
Projeção	O Plano vai ser cumprido?	Quando?	Quanto vai custar?

### 2.2.1 Métricas-base do EVM

Para compreender a metodologia EVM é necessário perceber a definição das métricas-base da ferramenta, sendo estas o *Planned Value* (PV), *Earned Value* (EV), o *Actual Cost* (AC), o *Earned Schedule* (ES), o *Actual Time* (AT), o *Budget at Completion* (BAC) e o *Schedule at Completion* (SAC). Neste subcapítulo serão descritos estes conceitos. Assim:

- i. ***Planned Value (PV)***: Também conhecido como *Budget Cost of Work Schedule* (BCWS) ou Valor Planeado (VP). Esta métrica representa o valor orçamentado planeado para o trabalho a ser executado para uma atividade ou componente da WBS (PMBOK® Guide - 6<sup>th</sup> Edition). Este valor quando calculado num dado período de tempo deverá corresponder ao somatório de todas as atividades que estavam planeadas até à data do balizamento.

A Figura 2-3 apresenta como se pode verificar o valor planeado (PV), num dado mês de balizamento. No exemplo representativo, no mês de agosto, o PV seria de 10 (UM).

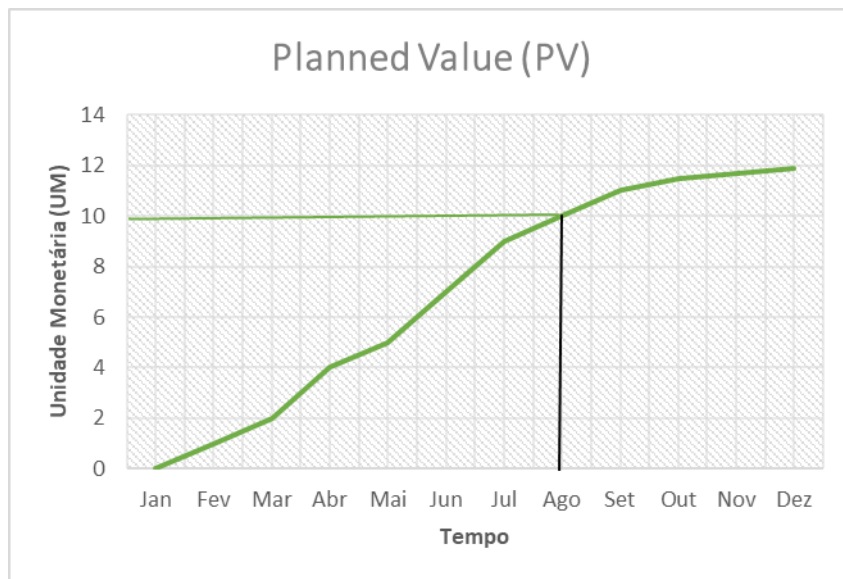


Figura 2-3 - Representação do *Planned Value* (PV)

- ii. **Earned Value (EV)**: Também conhecido como *Budget Cost of Work Performed* (BCWP) ou Valor Agregado (VA). Esta métrica representa a percentagem do orçamento global concluído à data do balizamento (Emídio 2017). É o valor do trabalho efetivamente realizado, com o valor orçamentado (aprovado) para o trabalho concluído até à data especificada (Sunarti, Mastan & Cin 2018).

A Figura 2-4 apresenta um dos possíveis exemplos do EV no balizamento de um determinado mês. No caso representado, para o mês de agosto, o EV seria de 8 (UM), ou seja, indica que o trabalho efetivamente realizado está abaixo do planeado.

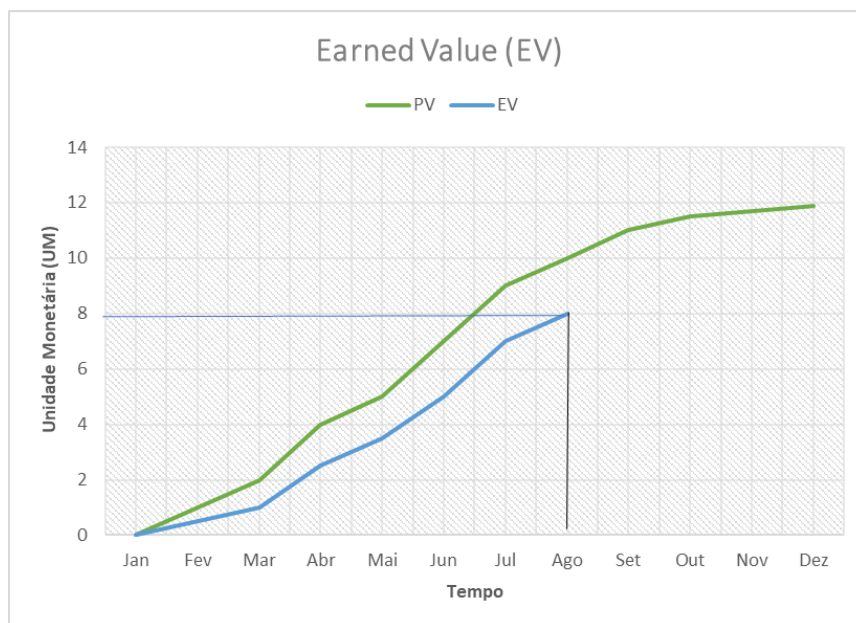


Figura 2-4 – Representação do *Earned Value* (EV)

- iii. **Actual Cost (AC):** Também conhecido como *Actual Cost of Work Performed (ACWP)* ou Custo Real (CR). Esta métrica representa o valor real que foi gasto na execução dos trabalhos medidos pelo EV.

A Figura 2-5 mostra um dos possíveis exemplos do *Actual Cost*, neste caso específico, o AC é de 12 (UM) valor acumulado verificado no mês de agosto o que indica que à data de balizamento foi gasto mais que o planejado para executar as atividades.

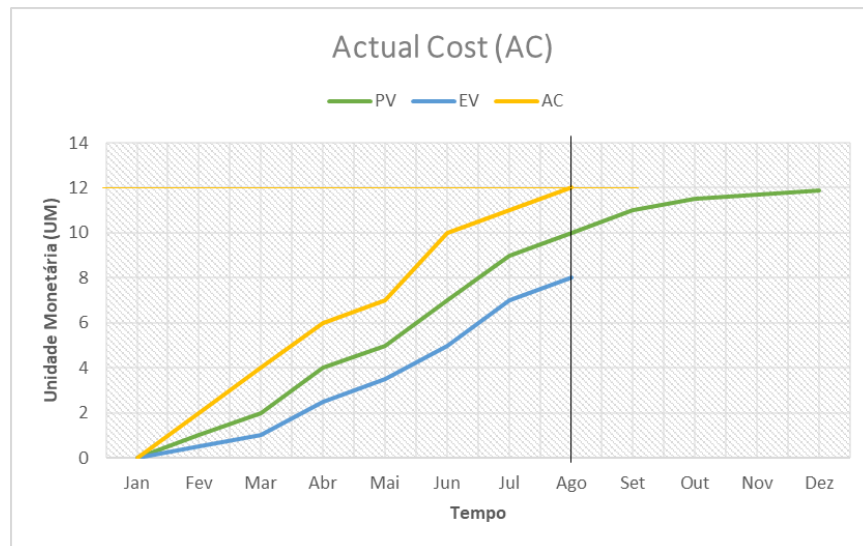


Figura 2-5 - Representação do *Actual Cost*

- iv. **Actual Time (AT):** Representa o tempo real que foi utilizado para executar o trabalho acumulado à data de balizamento (PMI 2019).
- v. **Earned Schedule (ES):** Considerado como a ponte entre o EVM tradicional e a gestão de tempo do Projeto (Lipke 2012), esta métrica, também conhecida como Prazo Agregado (PA) tem uma ideologia análoga ao EV, no entanto, em vez de usar o custo como unidade de medida, usa o tempo. O seu conceito é determinar o prazo em que o EV acumulado deveria ter ocorrido.

A Figura 2-6 representa o *Earned Schedule*, conceito introduzido por Lipke em 2003. No caso representado, considerando que o *Actual Time* é agosto (mês 8), o *Earned Schedule* seria considerado a primeira quinzena do mês de junho (mês 6,5). I.e., o ES é o tempo que em que o EV deveria ter sido executado, tendo como base o PV.

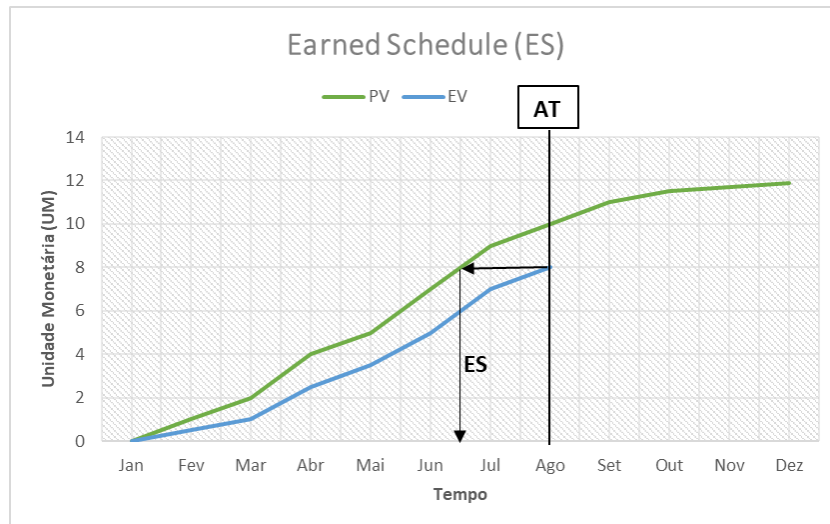


Figura 2-6 - Representação do *Earned Schedule*

- vi. **Budget at Completion (BAC)**: Também denominado de Orçamento no Término (ONT), é o custo total planejado considerando as atividades, prazos e recursos. Ou seja, é o orçamento aprovado para concluir todo o Projeto (PMI 2019).

A Figura 2-7 representa o *Budget at Completion* (BAC). No caso apresentado, o BAC será de 12 UM que representa o custo total do Projeto.

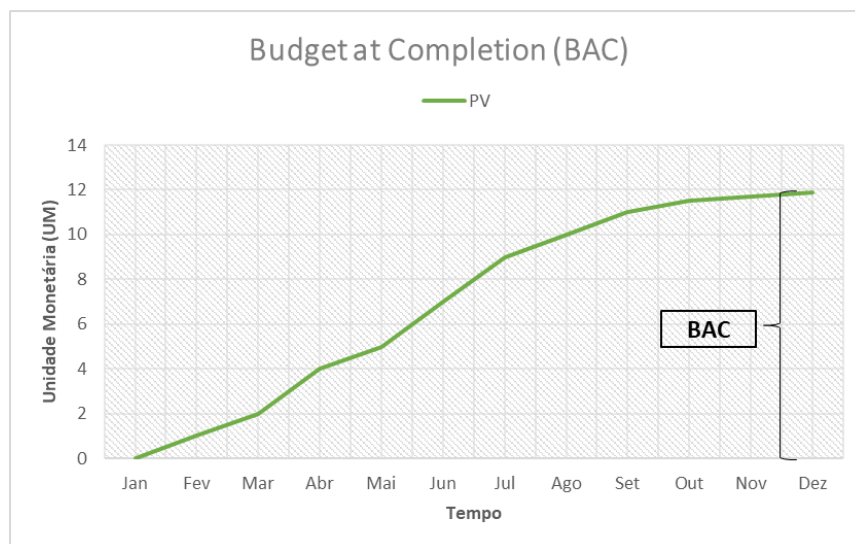


Figura 2-7 - Representação do *Budget at Completion*

- vii. **Schedule at Completion (SAC)**: Conceito análogo ao BAC, corresponde à duração total planejada para completar o Projeto (PMI 2019).

A Figura 2-8 representa o *Schedule at Completion (SAC)*. No caso apresentado, o SAC do Projeto é referente ao mês de dezembro.

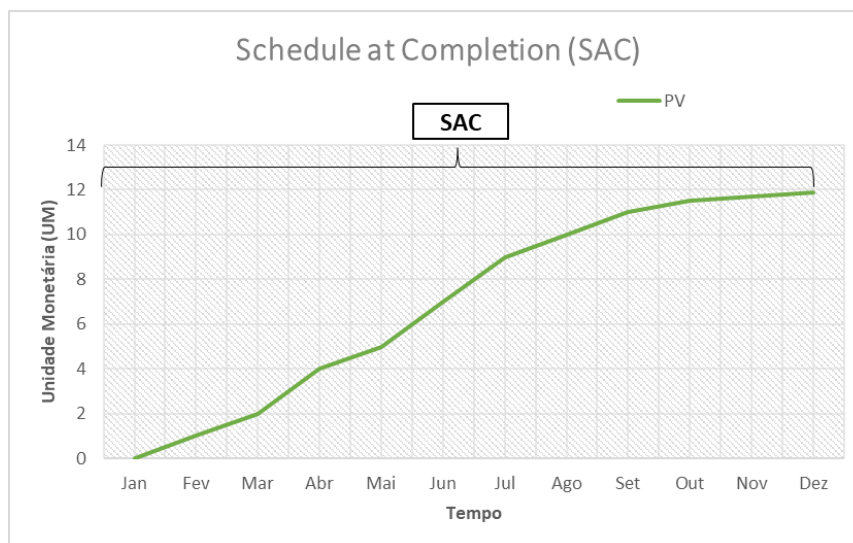


Figura 2-8 - Representação do *Schedule at Completion (SAC)*

Através destas métricas o EVM permite ao utilizador calcular diferentes indicadores que não só providenciam informação sobre o estado do Projeto, mas também sobre o seu desempenho e as suas previsões futuras. Estes são os indicadores de estado, de desempenho e de previsão.

### 2.2.2 Indicadores de Estado

Intitulado no PMBOK® Guide de Variance Analysis (VA) ou Análise de Variação, conforme o nome indica, estes indicadores permitem ao utilizador calcular através de fórmulas simples o estado do Projeto, tanto a nível de prazo como de custo. São, portanto, dois os indicadores de estado existentes, o *Schedule Variance (SV)* ou Variação de Prazo (VP), e o *Cost Variance (CV)* igualmente denominado Variação de Custo (VC). Define-se então:

- i. ***Schedule Variance (SV<sub>w</sub>)***: Este indicador, (Figura 2-9), é a medida de desempenho do cronograma expressa em volume de trabalho, que representa a diferença entre o EV e o PV. Quantifica o progresso do Projeto a nível de prazo, indicando se este se encontra adiantado ou atrasado em relação à linha de base do tempo (cronograma) (PMBOK®Guide - 6<sup>th</sup> Edition).

$$[SV_w] = [EV] - [PV]$$

(2.1)

A diferença entre o EV e o PV indica o estado do Projeto relativamente ao prazo. Se o seu resultado for nulo, conclui-se que o prazo do Projeto está de acordo com o planeado. No entanto, se for positivo, o Projeto encontra-se adiantado em relação ao cronograma. Por último, se este valor for negativo, o Projeto encontra-se atrasado.

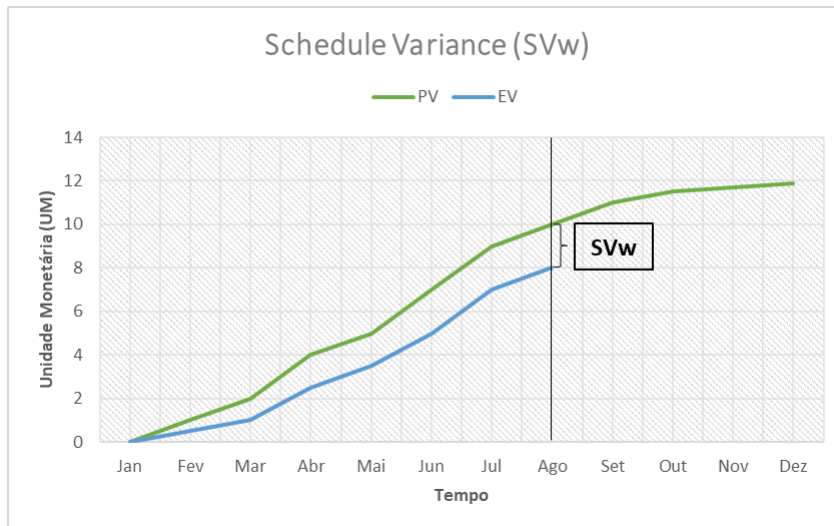


Figura 2-9 - Representação do *Schedule Variance* (SVw)

O seu resultado pode também ser apresentado em percentagem utilizando a seguinte relação com o PV.

$$[SVw]\% = \frac{[SVw]}{[PV]} \tag{2.2}$$

- ii. ***Schedule Variance* (SV<sub>t</sub>):** Este indicador (Figura 2-10) é a medida de desempenho do cronograma expressa em unidade de tempo. É baseado no conceito de *Earned Schedule* e quantifica o progresso do Projeto a nível de prazo, através da diferença entre o ES e o AT.

$$[SVt] = [ES] - [AT] \tag{2.3}$$

O resultado deste indicador é analisado da mesma forma que o seu homólogo SV<sub>w</sub>.

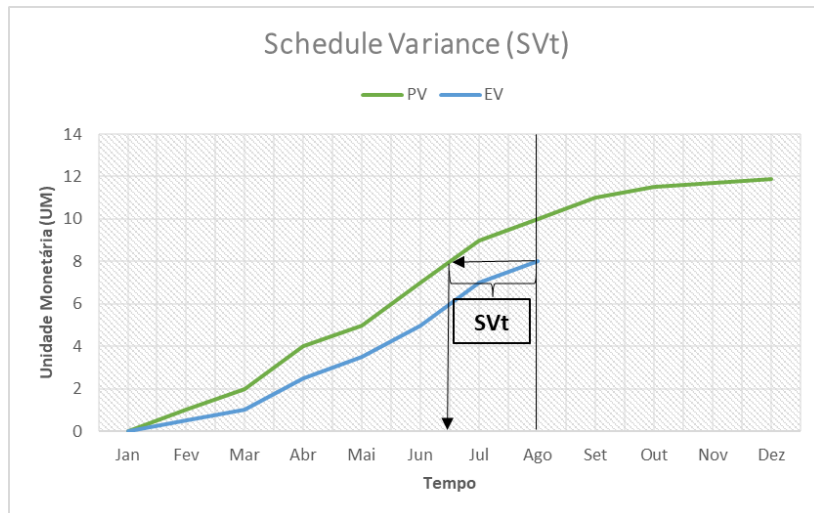


Figura 2-10 - Representação do *Schedule Variance (SVt)*

Utilizado a mesma premissa do indicador anterior, a percentagem deste poderá ser representada, utilizando a relação com o ES.

$$[SV_t]\% = \frac{[SV_t]}{[ES]} \quad (2.4)$$

- iii. **Cost Variance (CV)**: Este indicador é a medida de desempenho dos custos de um Projeto, representando se este se encontra abaixo (positivo) ou acima (negativo) do orçamento base (Proaño-Narváez, Flores-Vázquez, Vázquez Quiroz & Avila-Calle 2022). Poderá também ser calculado no final do Projeto sendo que a sua variação será a diferença entre o *Budget at Completion (BAC)* e o *Actual Cost (AC)* do Projeto.

$$[CV] = [EV] - [AC] \quad (2.5)$$

A diferença entre o EV e o AC indica o estado do Projeto relativamente ao orçamento (Figura 2-11), se este valor for positivo, o custo despendido até à data do balizamento está abaixo do orçamentado. Pelo contrário, se este valor for negativo, indica as despesas excessivas relativamente ao orçamento do Projeto.

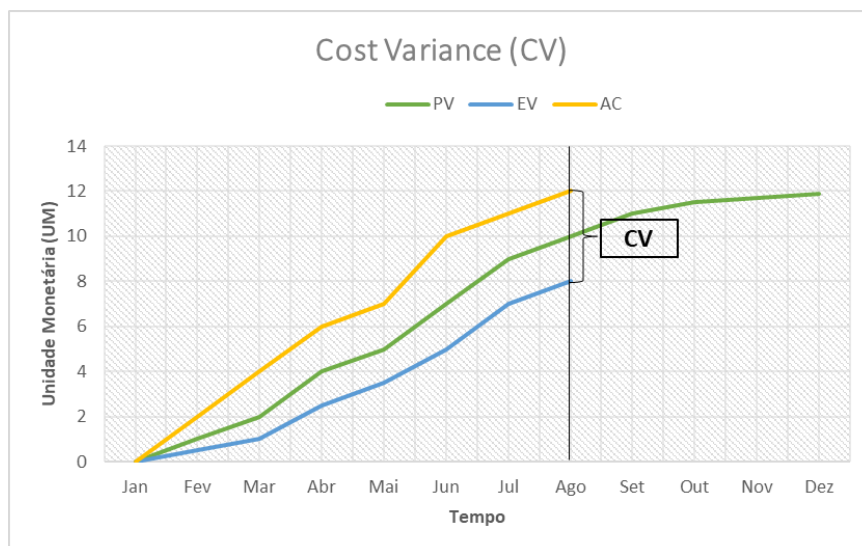


Figura 2-11 - Representação do *Cost Variance (CV)*

Este valor pode também ser representado em porcentagem em relação ao EV.

$$[CV]\% = \frac{[CV]}{[EV]} \tag{2.6}$$

### 2.2.3 Indicadores de Desempenho

Intitulado no PMBOK® Guide de Performance Indexes (PI) ou Análise de tendências, estes indicadores analisam o desempenho do Projeto ao longo do tempo (PMBOK® Guide – 6th Edition).

O desempenho do Projeto é medido em prazo e custo e, portanto, os indicadores calculados são o *Schedule Performance Index (SPI)* referido no PMBOK® Guide como Índice de Desempenho de Prazos (IDP), e *Cost Performance Index (CPI)* referido no PMBOK® Guide como Índice de Desempenho de Custos (IDC).

- i. **Schedule Performance Index (SPI<sub>w</sub>)**: A relação entre o EV e PV fornece as métricas de desempenho do Projeto relativamente ao seu prazo em unidades de volume de trabalho.

$$[SPI_w] = \frac{[EV]}{[PV]}$$

2.7

De acordo com Emídio (2017), se EV à data de balizamento for maior que o PV, então o Projeto encontra-se adiantado e por consequência  $SPI_w > 1$ , resultado positivo durante o controlo e monitorização. Se por outro lado, o PV for maior que o EV pode concluir-se que existe um atraso no Projeto com representação de  $SPI_w < 1$ . Um terceiro resultado possível será  $SPI_w = 1$ , isto obtém-se quando EV é igual a PV, indicando que à data de verificação, o Projeto encontra-se a ser executado de acordo com o planeado (Figura 2-12).

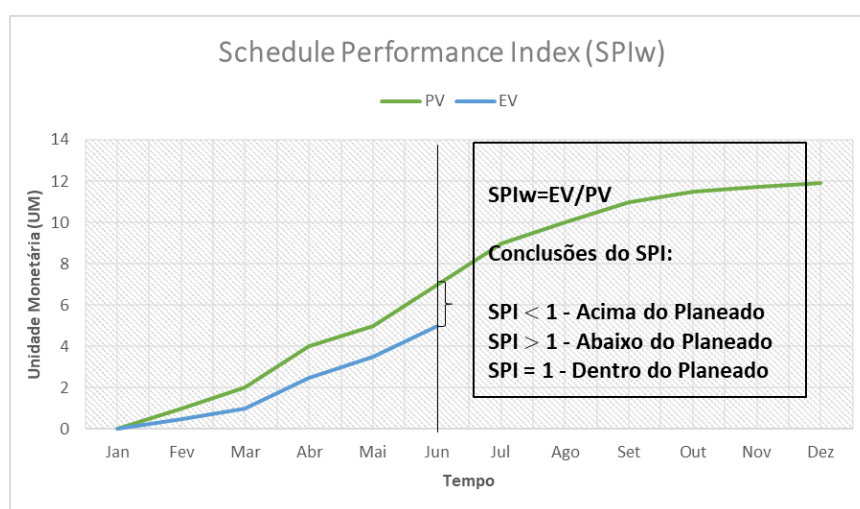


Figura 2-12 - *Schedule Performance Index (SPI<sub>w</sub>)*

- ii. **Schedule Performance Index (SPI<sub>t</sub>)**: Este indicador permite ao utilizador calcular a performance do Projeto no fator tempo através da métrica base *Earned Schedule*, providenciando assim um indicador calculado com recurso a unidade de tempo, ao contrário do SPI<sub>w</sub> que utiliza unidade monetária. De acordo com Lipke (2012) o ES tem produzido indicadores válidos que demonstram uma informação precisa da performance de um Projeto quando comparado com a medição do mesmo indicador através do volume de trabalho SPI<sub>w</sub>.

A Figura 2-13 apresenta as possíveis conclusões do indicador SPI<sub>t</sub>, que apresentam as mesmas características do seu homólogo SPI<sub>w</sub>.

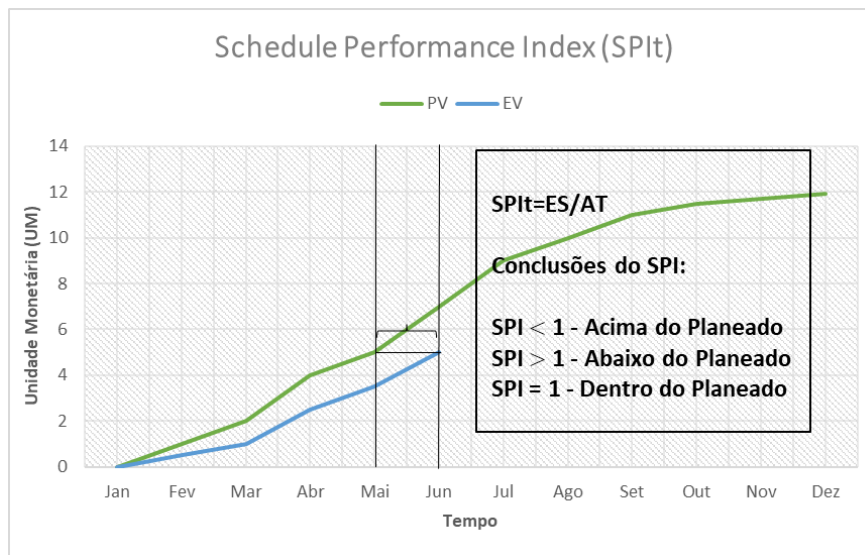


Figura 2-13 - Schedule Performance Indicator (SPI<sub>t</sub>)

- iii. **Cost Performance Index (CPI):** Este indicador representa o estado do Projeto relativamente ao orçamento base. É representado pela relação entre o EV e o AC. Segundo Sunarti, Mastan & Cin (2018) determina o retorno por cada unidade monetária gasta durante a execução.

$$[CPI] = \frac{[EV]}{[AC]} \tag{2.8}$$

De acordo com Proaño-Narváez, Flores-Vázquez, Vásquez Quiroz & Avila-Calle (2022), este indicador dá resposta à eficiência com que os recursos estão a ser usados no Projeto. Se o EV for maior que o AC, então o Projeto encontra-se abaixo do orçamento (positivo), e por consequência  $CPI > 1$ . No entanto, EV menor que AC, é indicativo que o Projeto se encontra acima do orçamento, logo,  $CPI < 1$ , resultado negativo que indica necessidade de implementar medidas corretiva. Por último existe ainda a relação EV igual a AC, o que representa que o valor gasto à data de balizamento é igual ao valor planeado, i.e.  $CPI = 1$  (Figura 2-14).

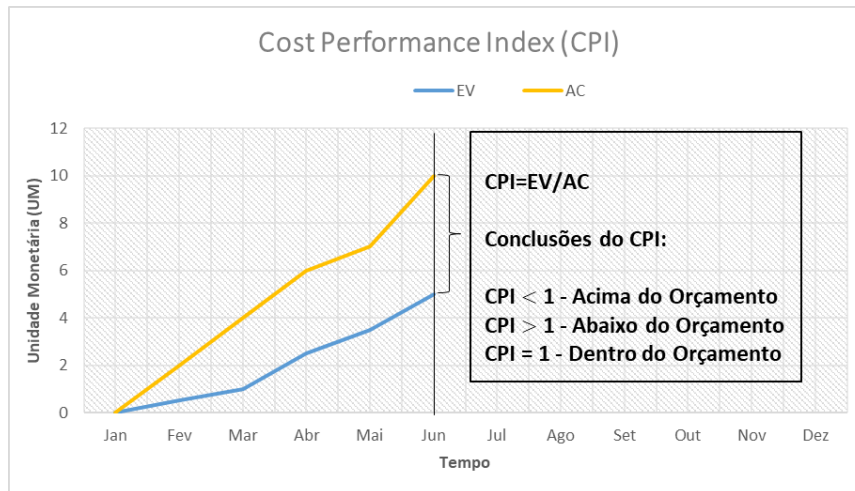


Figura 2-14 - Cost Performance Index (CPI)

#### 2.2.4 Indicadores de Previsão

A terceira e última aplicação do EVM é a previsão da performance do Projeto. Através dos resultados das métricas-base analisadas anteriormente é possível estimar o custo total previsto para finalizar o Projeto, assim como o valor que irá ser necessário para o terminar.

- i. **Estimate to Complete (ETC)**: Também denominado Estimativa para Terminar (EPT), representa o custo e tempo espectável para terminar o trabalho ainda por executar no Projeto (PMBOK®Guide - 6<sup>th</sup> Edition).

Embora existam dois métodos para determinar este indicador, o mais conhecido e usado, é a estimativa baseada na premissa que não exista intervenção da equipa de gestão do Projeto e previsão dos riscos associados (PMI 2019). Este conceito contempla que o restante trabalho a ser executado seja calculado usando uma média dos valores obtidos dos indicadores de performance tanto de tempo como de custo. As seguintes fórmulas são aplicadas de acordo com a premissa de EV e ES, correspondendo a volume de trabalho e tempo.

$$[ETC_w] = \frac{([BAC] - [AC])}{[CPI]} \quad (2.9)$$

$$[ETC_t] = \frac{[SAC] - [AT]}{[SPI]} \quad (2.10)$$

- ii. **Estimate at Completion (EAC)**: Também conhecido como Estimativa no Término (ENT), este indicador permite avaliar o custo total e tempo, esperado no final da execução dos trabalhos. De acordo com Farinha (2013), este é um dos indicadores chave do EVM pois permite ao utilizador estimar o custo e prazo final do Projeto.

$$[EAC_w] = [AC] + [ETC_w] \tag{2.11}$$

$$[EAC_t] = [AT] + [ETC_t] \tag{2.12}$$

A Figura 2-15 representa o indicador de previsão *Estimate at Completion* (EAC). No caso representado, são destacados os indicadores em relação a tempo e custo. O  $EAC_w$  (volume de trabalho) indica a previsão de quanto irá ser estimado o orçamento no término do Projeto. Neste caso em particular, o orçamento inicial (BAC) seria de 12 UM, no entanto, de acordo com a performance do Projeto à data de balizamento e através do cálculo dos indicadores de previsão, estima-se que o Projeto irá acabar com um custo de 15 UM, i.e., acima do orçamento.

É também apresentado na Figura 2-15 o indicador de previsão  $EAC_t$  (tempo), que de acordo com os mesmos critérios anteriormente mencionados se pode concluir que o Projeto de encontra atrasado, sendo que a sua duração inicial seria até dezembro, ou seja, à data de balizamento estima-se que a sua duração contemple mais dois meses e que só termine a fevereiro do ano seguinte.

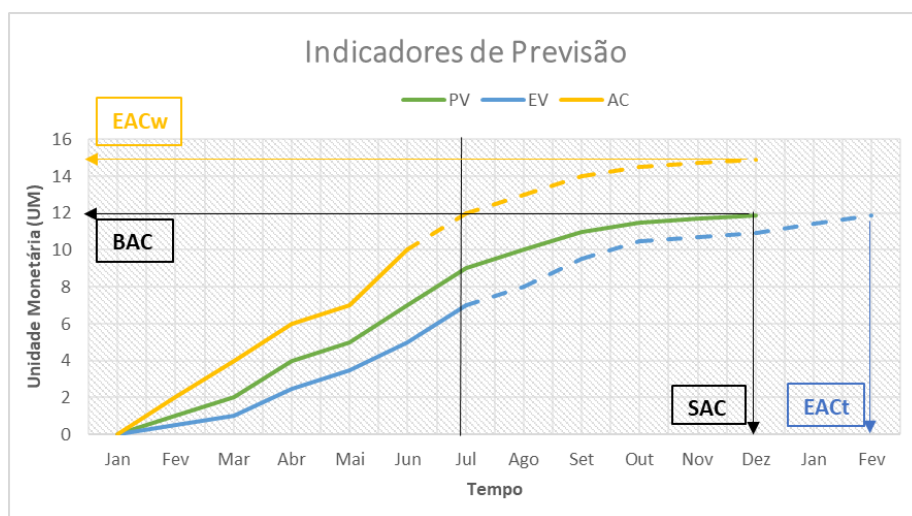


Figura 2-15 - Indicadores de Previsão

### **3 AGRUPAMENTO COMPLEMENTAR DE EMPRESAS (ACE)**

O estágio curricular no qual se desenvolve o presente trabalho está inserido na “*joint venture*” com uma base societária, também denominada de Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) do qual fazem parte as organizações Ferrovial Construcción SA (FERROVIAL) e Alberto Couto Alves (ACA) Engenharia e Construção.

#### **3.1.1 Alberto Couto Alves (ACA) Engenharia e Construção**

O grupo ACA foi fundado em 1982 pelo seu atual Chairman e CEO Alberto Couto Alves. Desde a sua criação, a organização encontra-se em constante expansão, sendo hoje em dia reconhecida como um dos mais relevantes “players” portugueses no setor da construção, em particular nas áreas de infraestruturas e construção civil.

Esta organização com presença internacional em três continentes, conta hoje com mais de noventa projetos no seu portfólio em países como Portugal, Angola, Brasil, Estados Unidos da América, entre outros.

Com a missão de gerar valor para acionistas e clientes, através de uma gestão sustentável de recursos e a visão de ser uma referência de excelência nas atividades que desenvolve e nos mercados onde atua, esta organização destaca os valores de rigor, qualidade, profissionalismo, cooperação, equidade e excelência.

#### **3.1.2 Ferrovial Construcción SA (FERROVIAL)**

A FERROVIAL é uma organização espanhola fundada em 1952 por Rafael del Pino y Moreno com o foco no setor da ferrovia, inspiração para o seu nome. Durante os seus 60 anos de existência, a empresa expandiu as suas áreas de especialização no setor da construção, atuando nas áreas de infraestruturas e construção civil.

Com presença internacional em todos os continentes, esta organização conta com mais de cento e cinquenta projetos no seu portfolio, que incluem construção de aeroportos, estradas, túneis entre muitos outros tipos de obras.

## CAPÍTULO 3

Com a missão de infraestruturas sustentáveis para um mundo em movimento e a visão de desenvolver e executar infraestruturas de forma inovadora, eficiente e sustentável, esta organização foca os seus valores no respeito, colaboração, excelência, inovação e integridade.

### **3.1.3 ACE Ferrovial Construcción e ACA Engenharia e Construção**

O agrupamento complementar de empresas FERROVIAL e ACA foi uma das diversas organizações que concorreu ao projeto de expansão do metro do Porto, nomeadamente aos projetos da Linha Circular (Linha Rosa) que faz a ligação entre os Aliados, Praça da Liberdade e a Casa da Música e ao Projeto do prolongamento da Linha Amarela de Vila Nova de Gaia que se estende desde Santo Ovídio até Vila D'Este.

O projeto foi adjudicado ao ACE pelo valor global de 288 milhões de euros, sendo o valor total de 189 milhões de euros referente à Linha Circular e 98,9 milhões de euros para a Linha Amarela.

## 4 PROLONGAMENTO DA LINHA AMARELA

O empreendimento do prolongamento da linha amarela é um Projeto do Metro do Porto que tem como objetivo a extensão da existente linha amarela que liga a o Porto a Vila Nova de Gaia, e que atualmente se estende da estação Hospital de São João até à estação de Santo Ovídio. A nova extensão desta linha em via dupla prevê o seu prolongamento em 3,1 km desde a rotunda de Santo Ovídio até Vila D'Este (Figura 3-1).

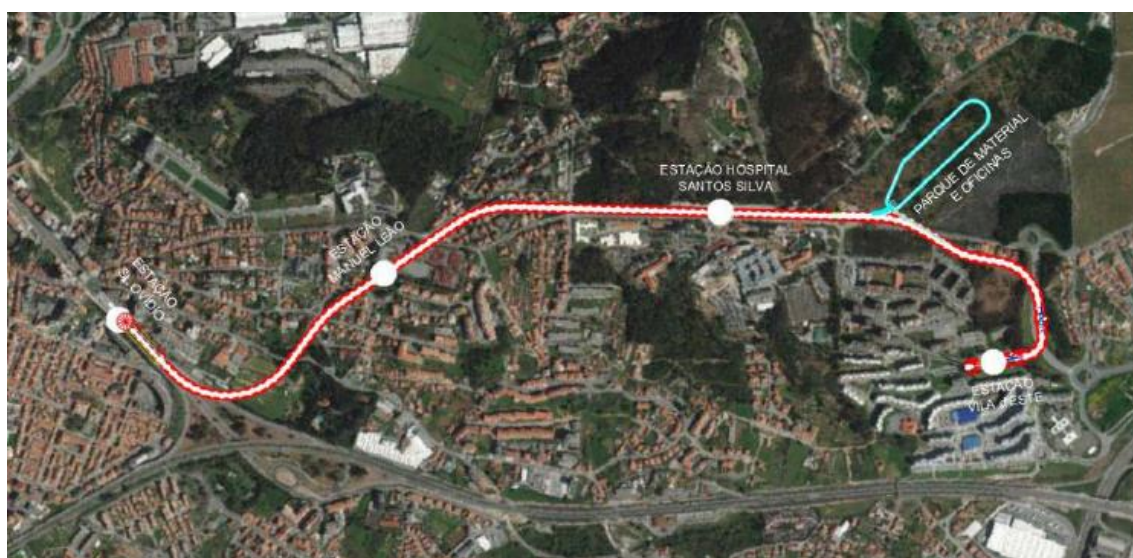


Figura 4-1 - Planta de Implantação Prolongamento da Linha Amarela  
(Fonte: Projeto de Execução Tomo 1C Arquitetura)

O Projeto inicia na estação de Santo Ovídio e avança até à nova estação de Manuel Leão através de três obras de arte que serão o foco de estudo deste Relatório e cuja descrição se encontra nos seguintes subcapítulos.

A última obra de arte (viaduto de Santo Ovídio) termina na encosta do Monte da Virgem onde é feita a transição em trincheira coberta para dar início ao seu trajeto subterrâneo.

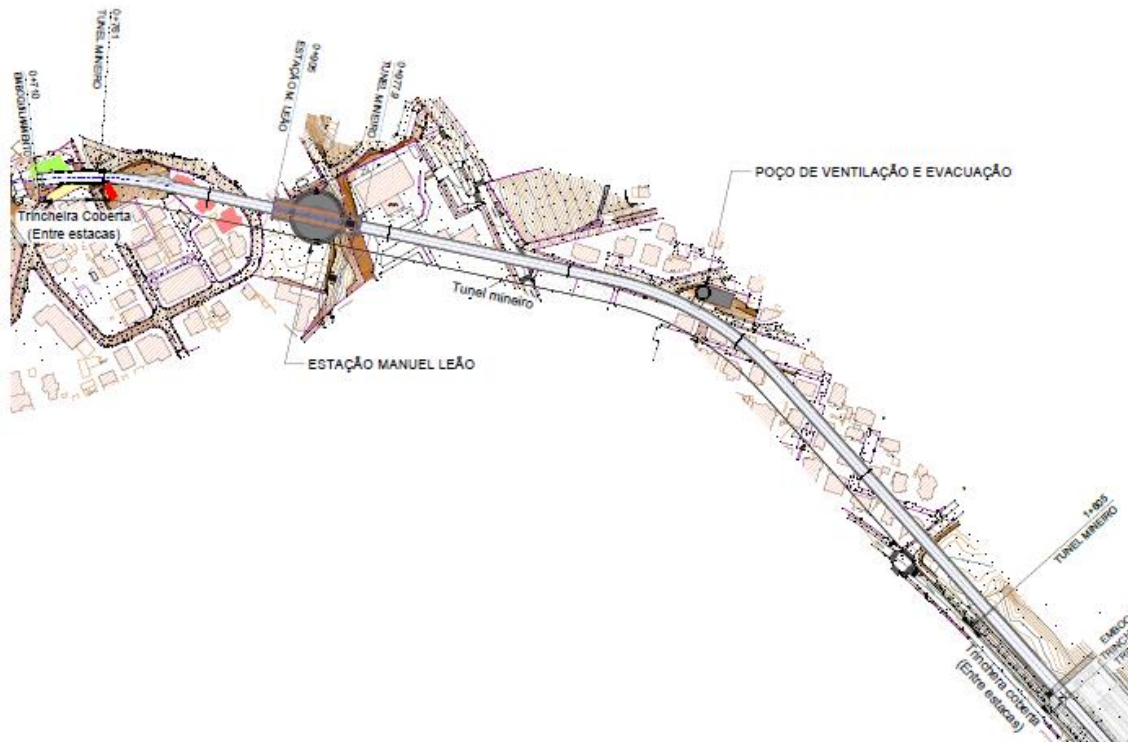


Figura 4-2 - Planta Geral Traçado Subterrâneo  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-104101-01)

De acordo com o Tomo 4ª – Túnel Mineiro, durante aproximadamente um quilometro (990 metros) o traçado irá desenvolver-se em túnel mineiro, estando incluído neste trajeto a estação Manuel Leão. Esta estação (subterrânea) tem cerca de vinte metros de profundidade e é constituída por três pisos.



Figura 4-3 - Planta de Implantação Estação Manuel Leão  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-101102-03)

O túnel onde o traçado se desenvolve contém também um poço de ventilação e emergência (PVE), que tem como função assegurar a ventilação do túnel, a evacuação de passageiros em caso de paragem de uma composição no túnel e o acesso dos meios de socorro em caso de incêndio.

Após o seu trajeto subterrâneo, o traçado transita para trincheira coberta durante cerca de 95 metros, passando de seguida para trincheira aberta e mantendo-se assim até à estação Hospital de Santos Silva que se encontra à superfície.

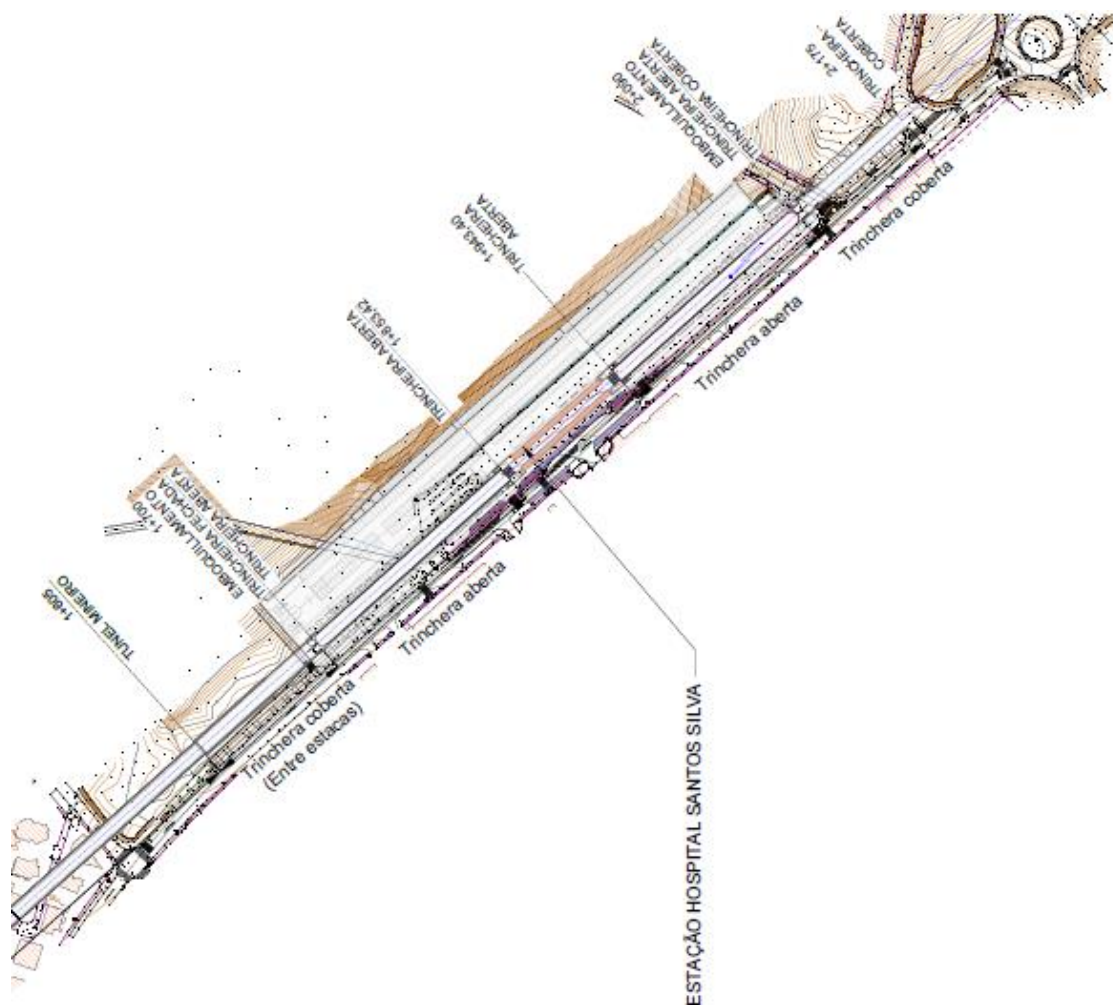


Figura 4-4 - Planta Geral Estação Hospital Santos Silva  
 (Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-104101-01)

Saindo da estação do Hospital de Santos Silva, a linha em via dupla volta ao seu trajeto abaixo da cota da superfície transitando de trincheira aberta para trincheira coberta (metodologia de túnel a “céu aberto”) onde se desenvolve durante cerca de 500 metros até voltar à superfície. Do decorrer deste trajeto em trincheira coberta encontra-se também o acesso ao Parque de Manutenção e Operações (PMO), Figura 3-5.

Já na superfície a linha irá desenvolver-se nessa cota durante 350 metros até chegar à estação de Vila D’Este.

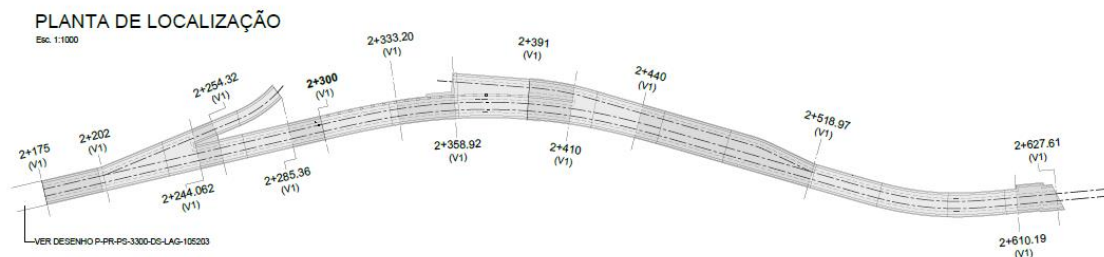


Figura 4-5 - Planta de Localização de Acesso ao PMO  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-104260-03)

O PMO (Figura 3-6) irá desenvolver-se com os serviços essenciais ao seu funcionamento, sendo estes, estação de serviço, lavagem e oficinas, além de armazéns diversos e uma subestação. Adicionalmente, será também incluído no parque, edifício social, edifício de portaria e um parque de estacionamento para cerca de vinte veículos simples.

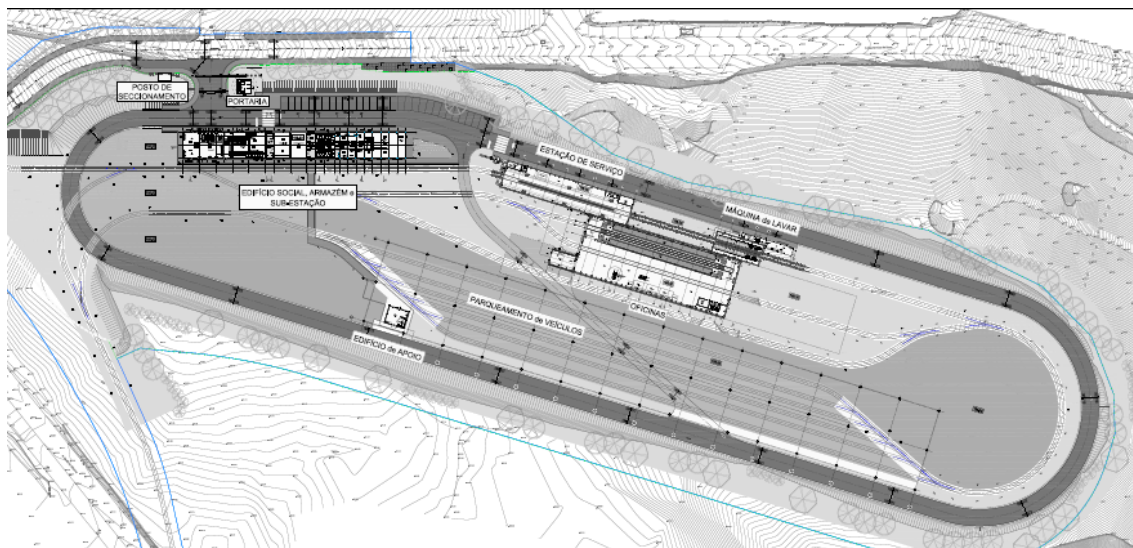


Figura 4-6 - Planta Geral PMO  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-101001-05)

#### 4.1 PROJETO DO VIADUTO DE SANTO OVÍDIO

O viaduto de Santo Ovídio está integrado no Projeto – Linha Amarela do Metro do Porto que prevê o prolongamento da Linha Amarela do Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto.

De acordo com o projeto de execução, Tomo 5 A – Obras de Arte (P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-105000-03), esta Obra-de-Arte que estabelece a ligação entre a Estação de Santo Ovídio (existente) e a Estação Manuel Leão (parte integrante do novo projeto).

Transpõe a rede viária envolvente à atual Estação de Santo Ovídio, nomeadamente os acessos à Autoestrada A1, desenvolvendo-se ao longo de um terreno rural (Quinta do Cisne) e transpondo a rede viária existente na aproximação à encosta do Monte da Virgem, em particular a Rua da Fonte dos Arrepellidos (antiga EN 1), estabelecendo aí a ligação com o túnel onde ficará inserida a Estação Manuel Leão. O Viaduto desenvolve-se em diretriz curva com uma extensão de 421,6 metros.

O projeto do viaduto de Santo Ovídio, prevê ainda que no seu acesso norte sejam criadas duas vias de resguardo para estacionamento do material circulante. Para este efeito, o acesso ao viaduto de Santo Ovídio contempla uma plataforma na trincheira existente à saída da estação e um viaduto de acesso à obra de arte.

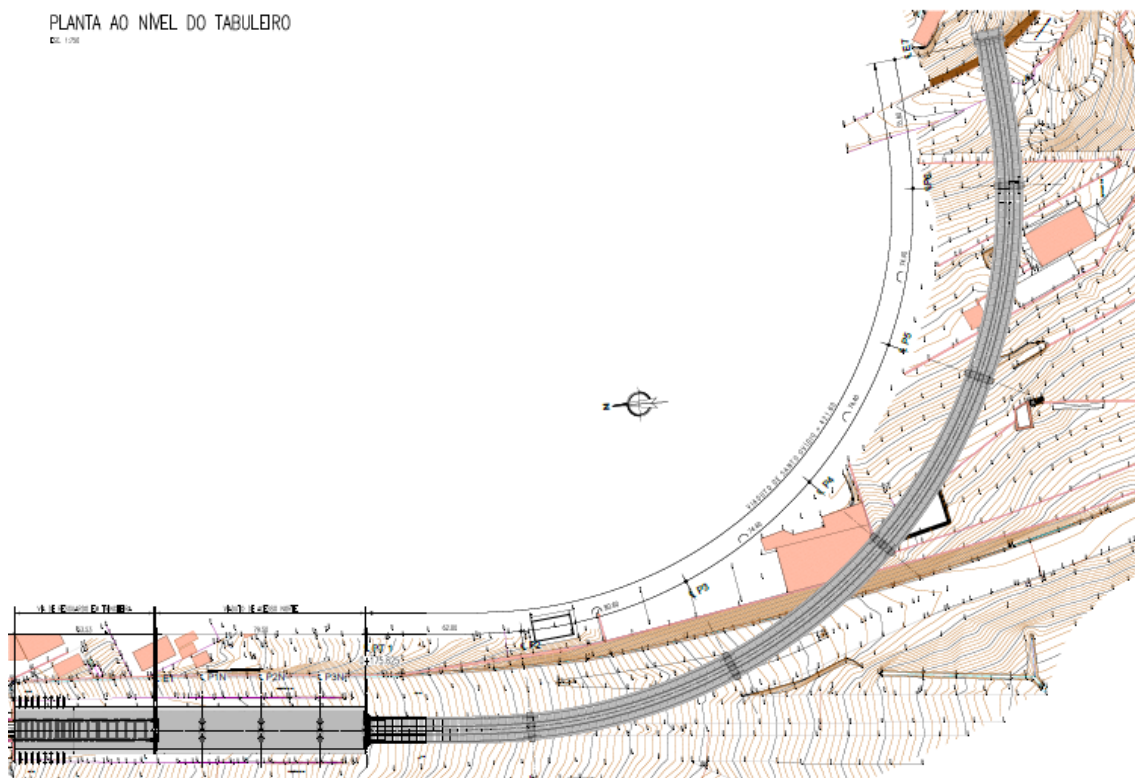


Figura 4-7 – Planta ao nível do tabuleiro Projeto Viaduto Santo Ovídio  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-105000-03)

Em suma, o projeto do Viaduto de Santo Ovídio é dividido em três obras de arte, a Via de Resguardo em Trincheira (VRT), o Viaduto de Acesso Norte (VAN) e o Viaduto de Santo Ovídio (VSO). Doravante, para uma distinção apropriada, o Projeto do Viaduto de Santo Ovídio será referente às três obras de arte e a sigla VSO representará a obra de arte do Viaduto de Santo Ovídio.

#### 4.1.1 Via de Resguardo em Trincheira (VRT)

A via de Resguardo em Trincheira situa-se logo após a Estação de Santo Ovídio, com um comprimento de 53,53 metros (Figura 3-8).

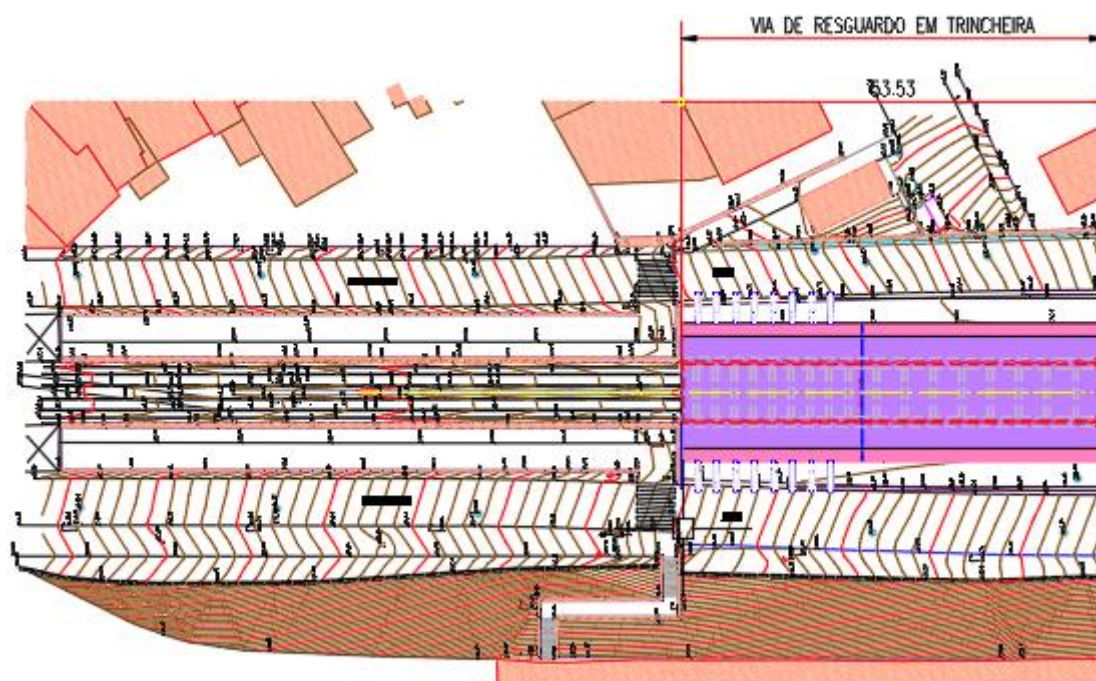


Figura 4-8 - Planta ao nível do tabuleiro Via de Resguardo em Trincheira  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-105000-03)

Esta via será desenvolvida em cima de uma estrutura existente de cortina de estacas. No entanto, sendo dimensionada uma via de resguardo na lateral das vias 1 e 2 destinada ao estacionamento do material circulante, o seu aumento prevê que a laje do tabuleiro fique em consola sobre a via para circulação automóvel.

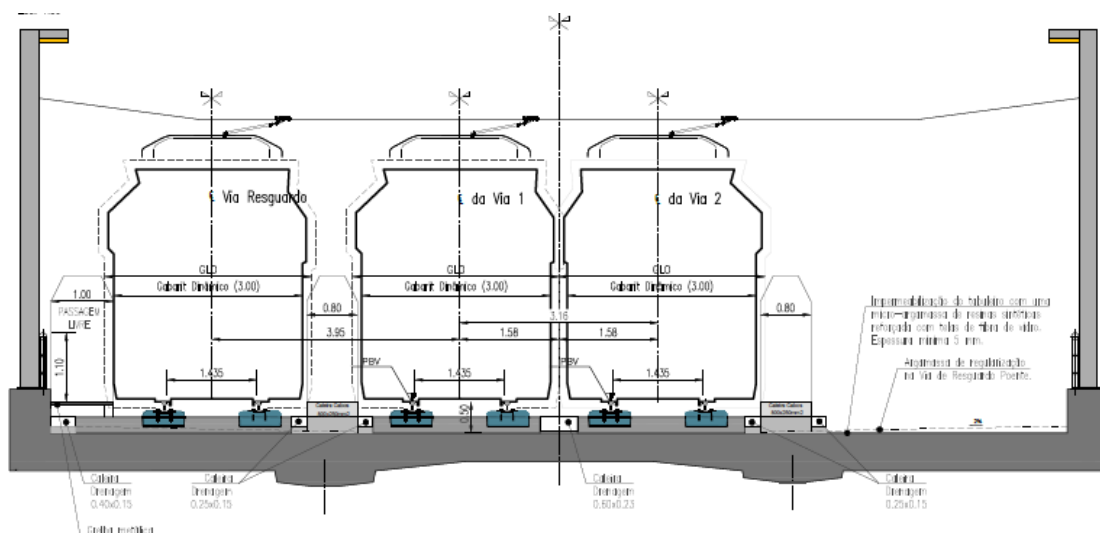


Figura 4-9 - Perfil Transversal do VRT  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105101-02)

Este projeto foi condicionado pela altura mínima do gabarito rodoviário de 5,00 metros. Esta condicionante só se verifica no ponto de interceção entre o VRT e o VAN, particularmente no Encontro 1 (elemento estrutural integrante do VAN).

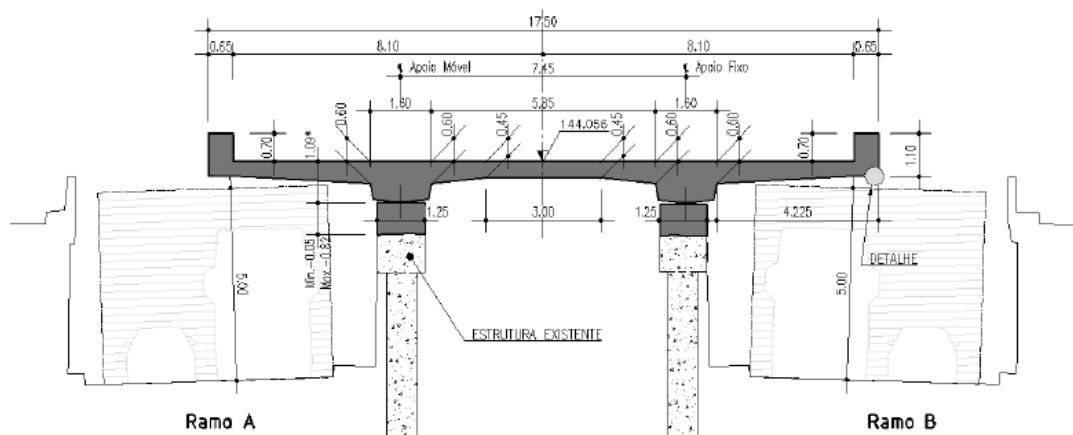


Figura 4-10 - Condicionante VRT  
(Fonte: Tomo 5A – Memória Descritiva)

Conforme mencionado, a nova estrutura será apoiada numa estrutura existente de cortina de estacas coroada por uma viga longitudinal e travada por vigas transversais onde assentava a laje de tabuleiro. Para acomodar a nova estrutura, a antiga laje será demolida até à viga de coroamento. O troço inicial da via estava ainda escorado por meio de escoras metálicas com a função de suporte aos muros laterais da trincheira rodoviária existente, estas escoras serão

substituídas por escoras provisórias durante a demolição e construção da nova estrutura e restituídas considerando uma diminuição do seu comprimento após conclusão do VRT.

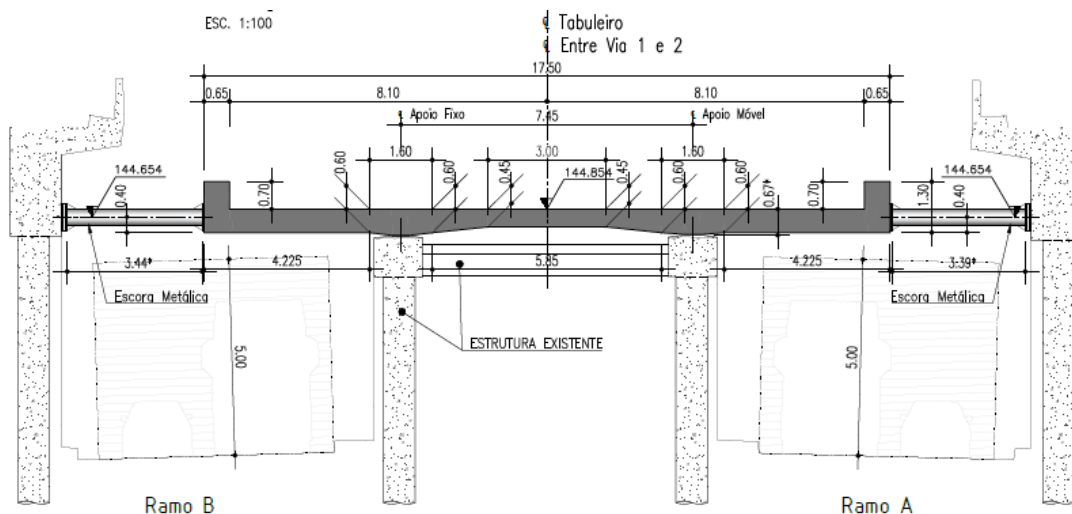


Figura 4-11 - Secção transversal do VRT  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105110-02)

Este escoramento só está previsto nos primeiros 22,80 metros da estrutura, sendo que nos restantes 30,65 metros as laterais da laje do tabuleiro funcionarão como consolas puras. Encontra-se nesta intersecção uma junta de construção que permite minimizar os efeitos de retração longitudinais.

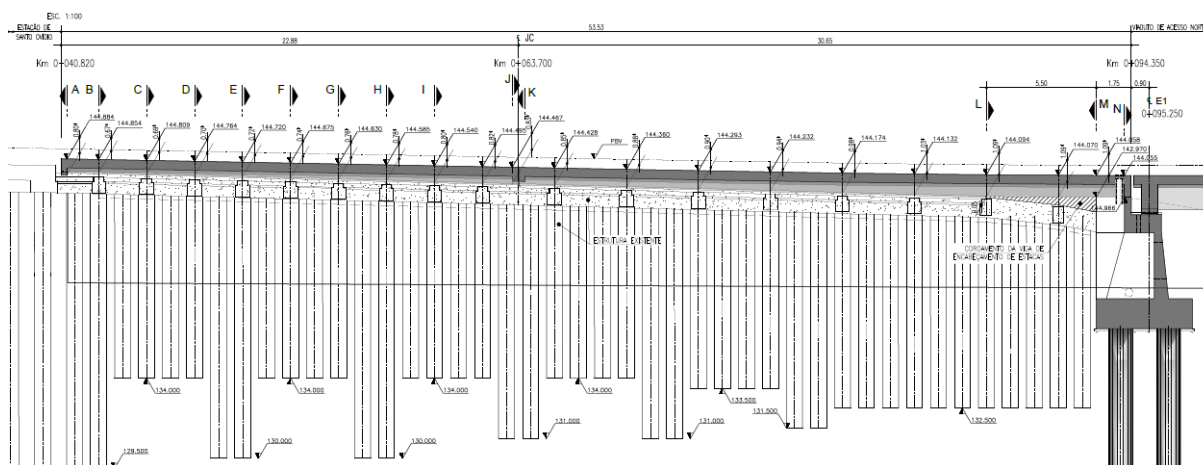


Figura 4-12 - Corte Longitudinal VRT  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105100-02)

A laje do tabuleiro será ainda assente sobre aparelhos de apoio fixos numa das vigas de coroamento e móveis na outra. Esta laje será de espessura variável e pré-esforçada transversalmente no seu desenvolvimento total.

### CAPÍTULO 3

Para a execução do VRT foi definida a WBS de acordo com o caderno de encargos apresentado na Tabela 3-1, também conhecido como Estrutura Analítica do Projeto, que será parte integrante da aplicação do EVM neste trabalho académico.

Tabela 4-1 - *Work Breakdown Structure (WBS) VRT*  
(Fonte: Plano de Trabalhos Ajustado)

WBS	Nome da Tarefa
<b>1.5.3.6.1</b>	<b>Via de Resguardo (VRT)</b>
1.5.3.6.1.1	Apresentação do Projeto de Escoras do VRT
1.5.3.6.1.2	Aprovação do Projeto de Escoras do VRT
1.5.3.6.1.3	Colocação do Escoramento Provisório VRT
1.5.3.6.1.4	Remoção do Escoramento Existente VRT
<b>1.5.3.6.1.5</b>	<b>Execução da Estrutura (Tramo I)</b>
1.5.3.6.1.5.1	Montagem do Cimbres Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.2	Demolições Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.3	Montagem de Cofragem Tramo I VRT
<b>1.5.3.6.1.5.4</b>	<b>Execução da Laje (Tramo I)</b>
1.5.3.6.1.5.4.1	Apoios (Metálicos + Microbetão na cabeças das estacas) Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.2	Armaduras Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.3	Apresentação do Projeto de Pré-esforço VRT (Tramo I)
1.5.3.6.1.5.4.4	Aprovação do Projeto de Pré-esforço VRT (Tramo I)
1.5.3.6.1.5.4.5	Preparação do Pré-esforço Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.6	Preparação, betonagem e cura Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.7	Aplicação do Pré-esforço Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.8	Execução dos Muros Laterais Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.9	Montagem do Escoramento Definitivo Tramo I VRT
1.5.3.6.1.5.4.10	Remoção do Escoramento Provisório Tramo I VRT
<b>1.5.3.6.1.6</b>	<b>Execução da Estrutura (Tramo II)</b>

1.5.3.6.1.6.1	Montagem da Cofragem Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2	<b>Execução da Laje (Tramo II)</b>
1.5.3.6.1.6.2.1	Apoios (Metálicos + Micro betão na cabeças das estacas) Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2.2	Armaduras Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2.3	Apresentação do Projeto de Pré-esforço VRT (Tramo II)
1.5.3.6.1.6.2.4	Aprovação do Projeto de Pré-esforço VRT (Tramo II)
1.5.3.6.1.6.2.5	Preparação do Pré-esforço Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2.6	Preparação, betonagem e cura Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2.7	Aplicação do Pré-esforço Tramo II VRT
1.5.3.6.1.6.2.8	Execução dos Muros Laterais Tramo II VRT

#### 4.1.2 Viaduto de Acesso Norte (VAN)

O viaduto de Acesso Norte (VAN) fará a transição entre o VRT e o VSO, esta estrutura tem um comprimento de 79,50 metros (Figura 3-13). Inicia-se no Encontro E1 que faz a transição entre o VRT e o VAN (Figura 3-14).

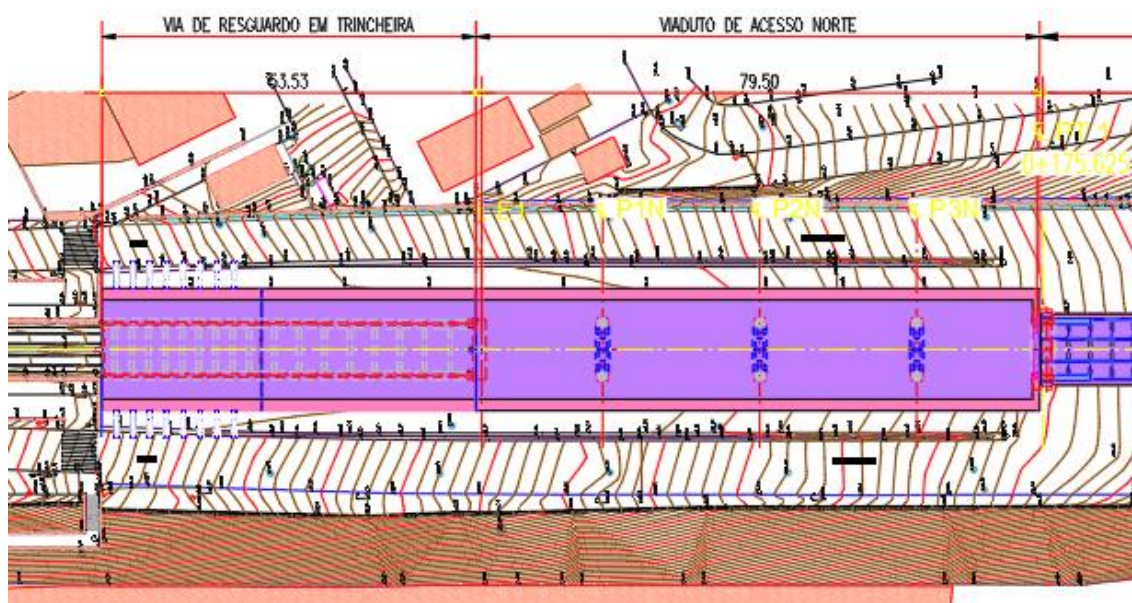


Figura 4-13 -- Planta ao nível do tabuleiro Via de Resguardo em Trincheira  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-105000-03)

### CAPÍTULO 3

A laje de tabuleiro, que apresenta um funcionamento e design semelhante ao VRT assenta sobre o Encontro 1, e três pilares nomeadamente P1N, P2N e P3N, terminando no pilar de transição PT1 onde inicia o VSO.

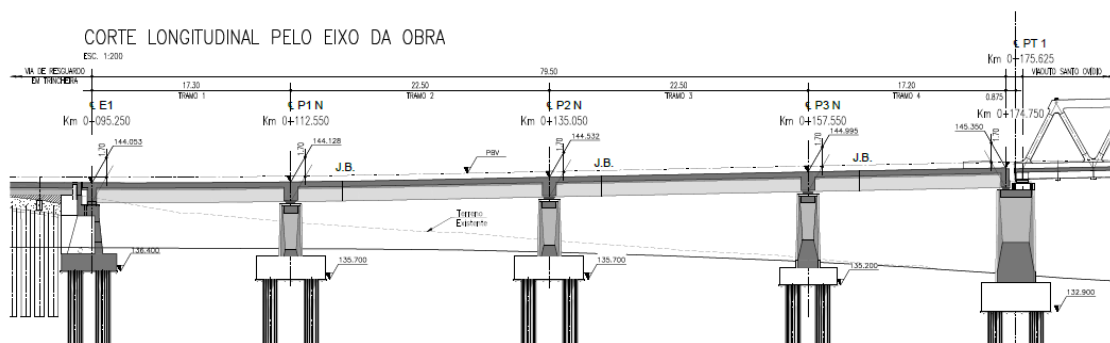


Figura 4-14 - Corte Longitudinal VAN  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-AO-MD-LAG-105200-02)

Além de fazer a transição entre o VRT e o VAN, o Encontro 1 (Figura 3-15) será também o ponto de recolha de águas pluviais provenientes do VRT e do primeiro troço do VAN. Esta recolha será feita dentro da estrutura do encontro que prevê um cofre acessível por uma porta metálica no fuste do encontro que dá acesso às caixas de drenagem. Devido às características do terreno onde a estrutura está prevista foi também necessária a execução de estacas a uma profundidade que garanta uma altura de encastramento igual ou superior a três vezes o diâmetro da estaca (3,6 metros). Estas estacas serão depois ligadas por um maciço de encabeçamento.

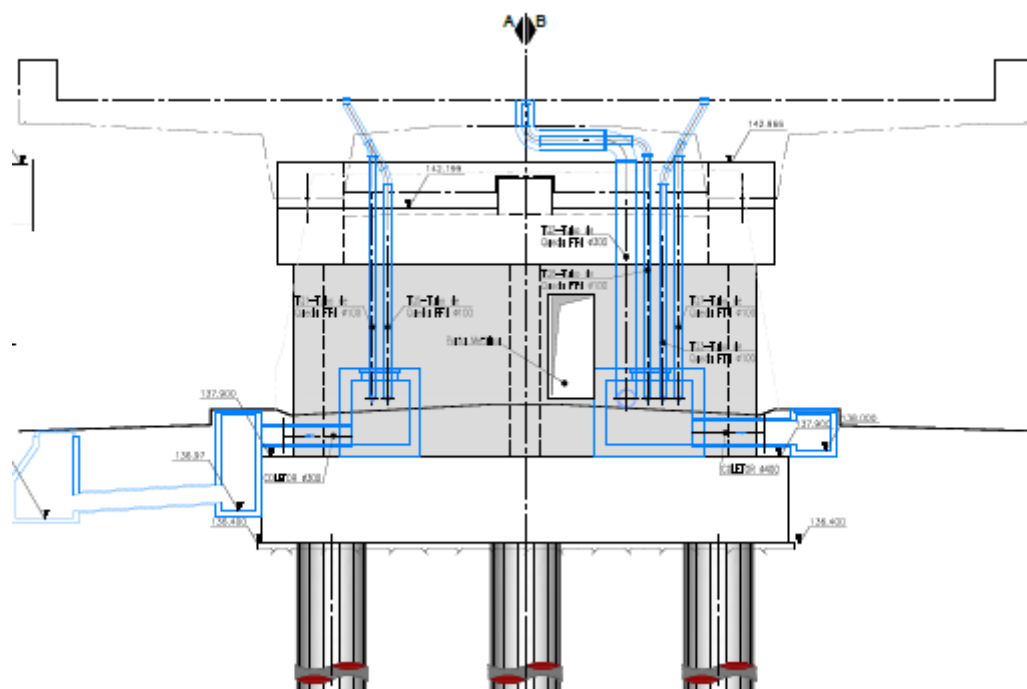


Figura 4-15 - Alçado Lateral Encontro E1  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-DR-DS-LAG-110005-01)

A estrutura e design dos pilares (Figura 3-16) desta obra de arte são em tudo semelhantes, sendo apenas variáveis em altura e largura. Devido às características do terreno, estes elementos, assim como o Encontro 1, preveem a necessidade de estacas e maciço de encabeçamento, com as mesmas disposições construtivas previamente enunciadas.





## CAPÍTULO 3

Para a execução do VAN foi definido a seguinte WBS apresentada na Tabela 3-2.

Tabela 4-2 - WBS VAN  
(Fonte: Plano de Trabalhos Ajustado)

<b>WBS</b>	<b>Nome da Tarefa</b>
<b>1.5.3.6.2</b>	<b>Acesso Norte (VAN)</b>
<b>1.5.3.6.2.1</b>	<b>Execução da Mesoestrutura</b>
<b>1.5.3.6.2.1.1</b>	Apresentação Projeto de Pré-esforço das Capitéis VAN
<b>1.5.3.6.2.1.2</b>	Aprovação Projeto de Pré-esforço das Capitéis VAN
<b>1.5.3.6.2.1.3</b>	<b>Encontro E1</b>
<b>1.5.3.6.2.1.3.1</b>	Execução das Estacas E1
<b>1.5.3.6.2.1.3.2</b>	<b>Execução da Sapata de Fundação E1</b>
<b>1.5.3.6.2.1.3.3</b>	<b>Execução do Encontro</b>
<b>1.5.3.6.2.1.4</b>	<b>P1N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.4.1</b>	Execução das Estacas P1N
<b>1.5.3.6.2.1.4.2</b>	<b>Execução da Sapata de Fundação P1N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.4.3</b>	<b>Execução do Fuste</b>
<b>1.5.3.6.2.1.5</b>	<b>P2N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.5.1</b>	Execução das Estacas P2N
<b>1.5.3.6.2.1.5.2</b>	<b>Execução da Sapata de Fundação P2N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.5.3</b>	<b>Execução do Fuste</b>
<b>1.5.3.6.2.1.6</b>	<b>P3N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.6.1</b>	Execução das Estacas P3N
<b>1.5.3.6.2.1.6.2</b>	<b>Execução da Sapata de Fundação P3N</b>
<b>1.5.3.6.2.1.6.3</b>	<b>Execução do Fuste</b>
<b>1.5.3.6.2.2</b>	<b>Execução da Superestrutura</b>
<b>1.5.3.6.2.2.1</b>	Apresentação do Projeto de Alteração do sentido de execução do tabuleiro VAN
<b>1.5.3.6.2.2.2</b>	Aprovação do Projecto de Tabuleiro do VAN

<b>1.5.3.6.2.2.3</b>	<b>Laje de Tabuleiro (Tramo I) - PT1-P3N</b>
<b>1.5.3.6.2.2.3.1</b>	Montagem do Cimbri Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.3.2</b>	<b>Execução da laje</b>
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.1</b>	Cofragem e armaduras Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.2</b>	Apresentação do Projeto de Pré-esforço VAN (Tramo I)
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.3</b>	Aprovação do Projeto de Pré-esforço VAN (Tramo I)
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.4</b>	Preparação do Pré-esforço Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.5</b>	Betonagem e cura do betão Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.3.2.6</b>	Aplicação de Pré-esforço Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.3.3</b>	Execução de Vigas de bordadura Tramo I VAN
<b>1.5.3.6.2.2.4</b>	<b>Laje de Tabuleiro (Tramo II) - P3N-P2N</b>
<b>1.5.3.6.2.2.5</b>	<b>Laje de Tabuleiro (Tramo III) - P2N-P1N</b>
<b>1.5.3.6.2.2.6</b>	<b>Laje de Tabuleiro (Tramo IV) - P1N-E1</b>
<b>1.5.3.6.2.3</b>	<b>Acabamentos</b>
<b>1.5.3.6.2.3.1</b>	Impermeabilização, Guarda-Corpos, passeios VAN
<b>1.5.3.6.2.3.2</b>	Desmontagem do Cimbri VAN
<b>1.5.3.6.2.3.3</b>	Amortecedores Anti-Sísmicos (do VSO)
<b>1.5.3.6.2.3.4</b>	Juntas de Dilatação VAN
<b>1.5.3.6.2.3.5</b>	Definição Reposição Paisagística
<b>1.5.3.6.2.3.6</b>	Reposição Paisagística
<b>1.5.3.6.2.3.7</b>	Libertação Parcial PST 20 (Via saída VNG)

#### 4.1.3 Viaduto de Santo Ovídio (VSO)

O viaduto de Santo Ovídio começa a desenvolver-se em via dupla no pilar de transição PT1 ao longo de 421,6 metros em diretriz curva. A estrutura irá assentar em seis pilares, nomeadamente PT1, P2, P3, P4, P5 e P6, terminando no Encontro 7 que se encontra situado no Monte da Virgem (Figura 3-20).

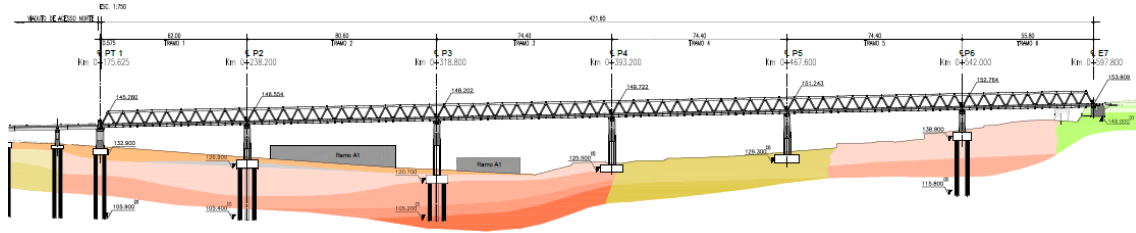


Figura 4-20 - Viaduto de Santo Ovídio  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105300-02)

O pilar PT1 tem design semelhante aos pilares do VAN, alterando apenas em comprimento e largura. Sendo este um pilar de transição entre o VAN e o VSO, existem também alterações na sua carlinga, que neste caso em particular irá ser aplicado o pré-esforço transversal com 5 cabos de 19 cordões cada, no topo do pilar são também localizados, dois batentes sísmicos e quatro aparelhos de apoio, dois para cada tabuleiro (Figura 3-21).

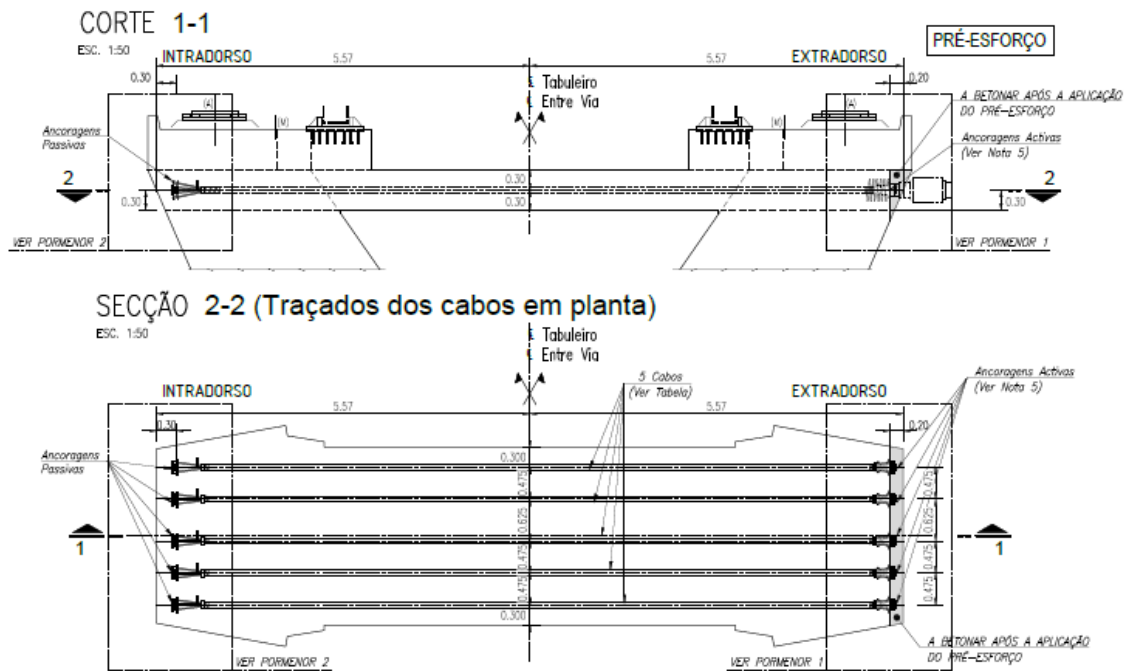


Figura 4-21 - PT1 Pré-esforço e Aparelhos de Apoio  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105300-02)

Os pilares P2 a P6 têm a arquitetura apresentada na Figura 2-22, sendo apenas variável a altura do fuste. Devido às condições geotécnicas do terreno onde estão implantadas, apenas os pilares PT1, P2, P3 e P6 necessitarão de fundações indiretas (estacas), sendo que as suas disposições construtivas são iguais às preconizadas para os pilares do VAN.

Os fustes destes pilares são constituídos por duas secções, a primeira oca e a segunda maciça. Já os seus capiteis têm design em tudo semelhante ao PT1, sendo que na sua carlinga irá ser



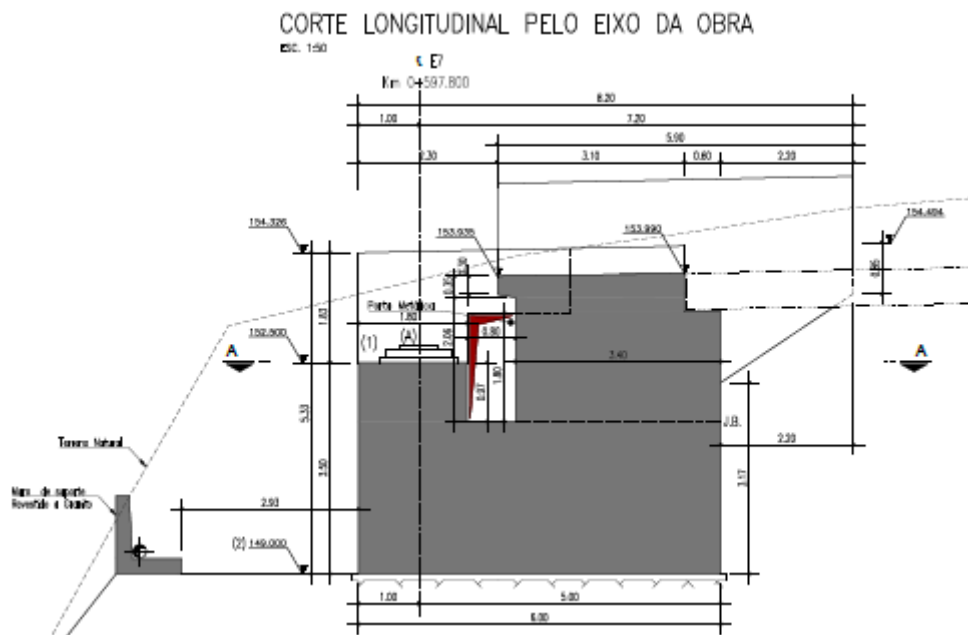


Figura 4-23 - Corte Longitudinal Encontro 7  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105315-03)

De acordo com os documentos concursais, a solução estrutural do viaduto é em treliça metálica superior tipo viga invertida (Figura 3-24) e adapta-se especialmente bem às condicionantes da obra por ser de altura constante. Esta solução tem uma especial vantagem significativa em termos de gabarito vertical a respeitar inferiormente no atravessamento da rede viária na ligação ao Monte da Virgem, principalmente sobre a Rua da Fonte dos Arrependidos.

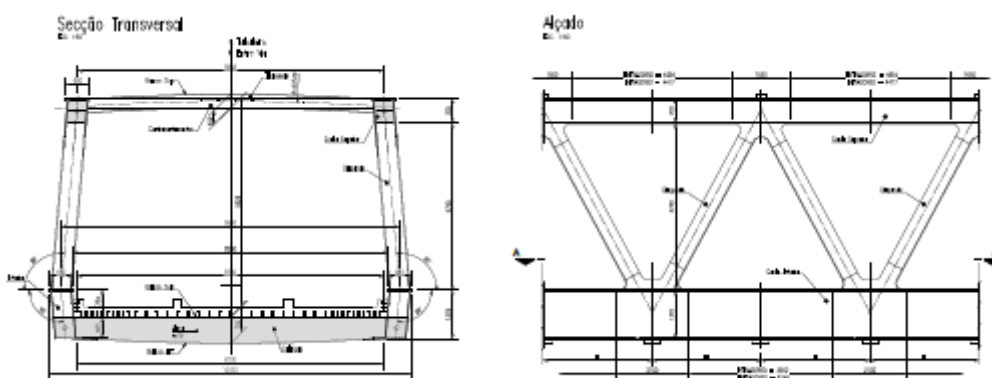


Figura 4-24 - Secção transversal e alçado da estrutura metálica do VSO  
(Fonte: Projeto P-PR-PS-3301-OA-DS-LAG-105366-02)

Devido às condicionantes rodoviárias no acesso da A1 à rotunda de Santo Ovídio e na Rua da Fonte dos Arrependidos, e limitação de espaço nas zonas de construção, nomeadamente na

frente de obra da Nacional 222 e na Quinta do Cisne, foi considerada uma alteração de metodologia construtiva para a solução de lançamento incremental da estrutura do viaduto.

Além disso, esta alteração da metodologia construtiva contempla também vantagem a nível de qualidade, ambiente, segurança e património, sendo as suas vantagens explicadas no documento: Memória Descritiva e Justificativa-Adaptação do método construtivo (documento de carácter confidencial).

De acordo com Seabra (2014) o lançamento incremental é uma metodologia construtiva que consiste na execução da estrutura do tabuleiro por tramos sucessivos com pré-execução num estaleiro montando a montante ou jusante de um dos encontros (dependendo da sua posição), sendo depois os tramos ligados e empurrados em conjunto até à sua posição final, por movimentação longitudinal.

Na execução do viaduto de Santo Ovídio através da metodologia construtiva de Lançamento Incremental, será montado um estaleiro na frente de obra do Monte da Virgem, a jusante do Encontro 7. Este estaleiro doravante denominado de Parque de Deslize, tem uma área aproximada de 2200 m<sup>2</sup>.

O Projeto do Parque Deslize contempla quatro carris de transporte da estrutura dentro do pavilhão, e dois carris de deslize com a função de apoio ao lançamento incremental (Figura 3-25).

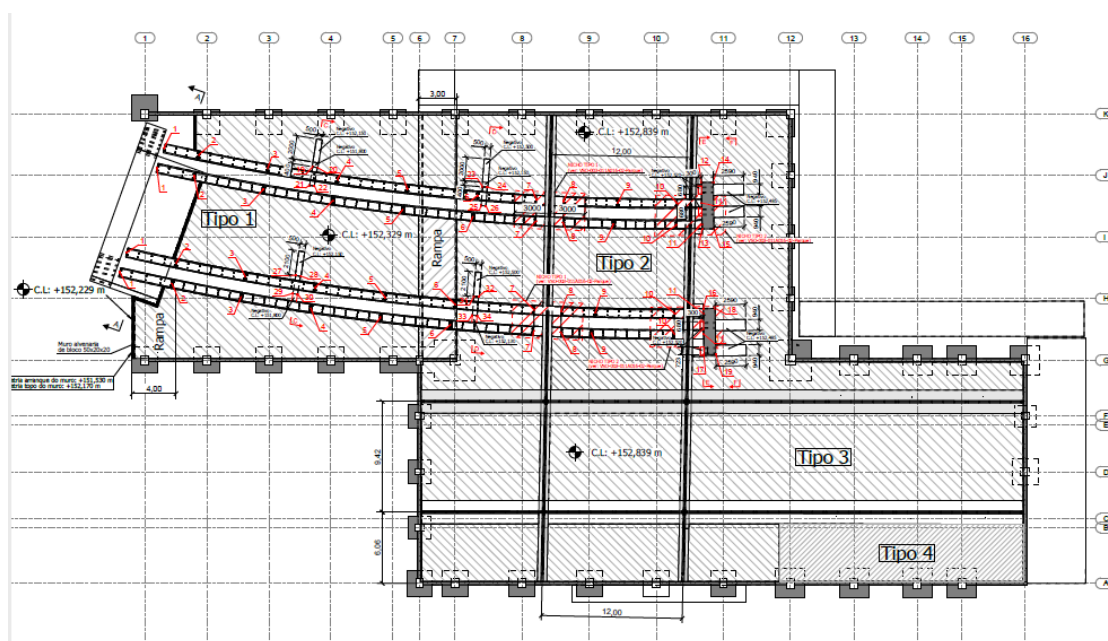


Figura 4-25 - Planta de Implantação do Parque de Deslize  
(Fonte: Projeto P-IN-PS-3301-ET-DS-FAD-000104-04)

### CAPÍTULO 3

Este estaleiro será dividido em três áreas de trabalho (Figura 3-26), a primeira será destinada à montagem 3D dos elementos da estrutura, após a sua montagem, estes serão transportados para a segunda zona, onde os elementos montados serão soldados. Concluída a soldadura, será então transportado para a terceira zona onde será aplicada a pintura e posterior ligação do tramo subsequente.

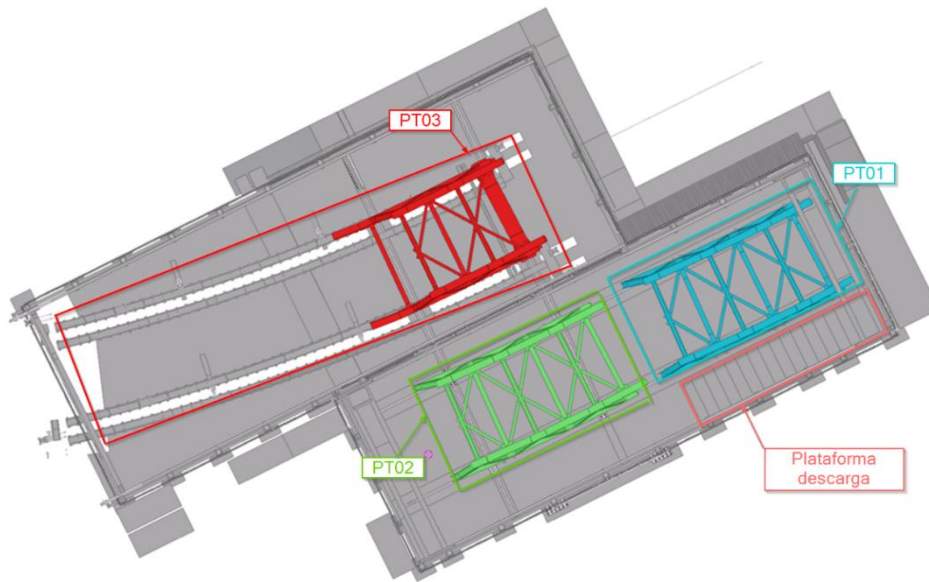


Figura 4-26 - Planta de Identificação de Postos de Trabalho  
(Fonte: PES 43 Montagem Estrutura Metálica VSO)

Após a conclusão dos tramos e respectivas ligações, inicia-se o processo de lançamento. O lançamento incremental da estrutura será feito em 24 fases, e o seu avanço irá variar entre 3,5 metros a 40,30 metros (Figura 3-27)

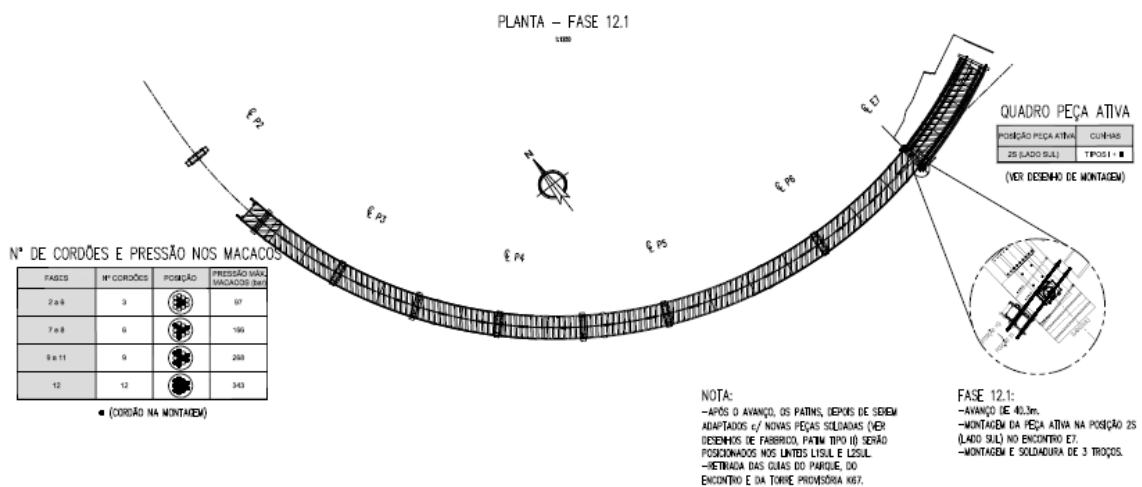


Figura 4-27 - Fase de lançamento 12.1  
(Fonte: VSO-001-001a018-00)

Devido ao comprimento reduzido do pavilhão (aproximadamente 50 metros) e com o objetivo de assegurar o suporte do VSO durante o processo de montagem, soldadura e empurre do mesmo sobre os pilares definitivos (mesoestrutura), irão ser implementadas torres metálicas, de secção quadrangular constituídas por perfis HEB300, que permitirão o deslocamento das longarinas da estrutura metálica sobre o seu topo.

Estas torres denominadas de K23, K34, K45, K56 e K67 estão localizadas entre os pilares de betão armado do VSO (Figura 3-28).

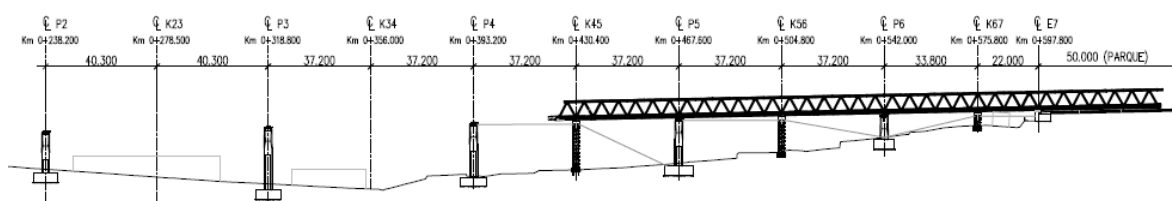


Figura 4-28 - Localização da Torres Provisórias  
(Fonte: VSO-000-001-00)

A fase final de ligação entre o último troço e o pilar PT1 não será executada com a mesma metodologia por existir uma diferença em planta de aproximadamente 5 metros entre o traçado em clóide e o traçado circular corrente do viaduto, pelo que não será possível o empurre deste tramo. Deste modo, este tramo será montado através de gruas e soldado *in situ*.

A execução do tabuleiro só será concluída depois de terminado o deslize, isto deve-se ao excesso de peso próprio que tornava inviável o lançamento incremental. Deste modo, optou-se por uma solução mista, com chapa cofrante/colaborante a ser instalada antecipadamente e integrada no lançamento do tabuleiro.

Para a execução do VSO foi definida a seguinte WBS apresentada na Tabela 3-3. Este dicionário prevê uma alteração construtiva que não integra o plano de trabalhos do Projeto. Por consequência, considera-se esta WBS com teor académico, não sendo parte integrante do Projeto da Linha Amarela do Metro do Porto.

Tabela 4-3 - WBS VSO

(Fonte: Adaptado de Plano de Trabalhos Ajustado)

<b>WBS</b>	<b>Nome da Tarefa</b>
<b>1.5.3.6.3</b>	<b>Viaduto de Santo Ovídio (VSO)</b>
<b>1.5.3.6.3.1</b>	<b>Execução de Mesoestrutura</b>
<b>1.5.3.6.3.1.1</b>	Apresentação Projeto de Pré-esforço Capitéis VSO
<b>1.5.3.6.3.1.2</b>	Aprovação Projeto de Pré-esforço Capitéis VSO
<b>1.5.3.6.3.1.3</b>	<b>PT1</b>
<b>1.5.3.6.3.1.3.1</b>	Execução das Estacas PT1
<b>1.5.3.6.3.1.3.2</b>	<b>Maciço de Encabeçamento PT1</b>
<b>1.5.3.6.3.1.3.2.1</b>	Escavação do Maciço de Encabeçamento PT1
<b>1.5.3.6.3.1.3.2.2</b>	Escavação Localizada e Saneamento das Estacas PT1
<b>1.5.3.6.3.1.3.2.3</b>	Execução da Fundação PT1
<b>1.5.3.6.3.1.3.2.4</b>	Impermeabilização e Aterro PT1
<b>1.5.3.6.3.1.3.3</b>	Execução do Pilar PT1
<b>1.5.3.6.3.1.4</b>	<b>P2</b>
<b>1.5.3.6.3.1.4.1</b>	Execução das Estacas P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.2</b>	<b>Maciço de Encabeçamento P2</b>
<b>1.5.3.6.3.1.4.2.1</b>	Contenção/Escavação do Maciço P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.2.2</b>	Escavação Localizada e Saneamento de estacas P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.2.3</b>	Execução da Fundação P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.2.4</b>	Impermeabilização e Aterro do P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.3</b>	<b>Execução do Pilar P2</b>
<b>1.5.3.6.3.1.4.3.1</b>	Fuste P2
<b>1.5.3.6.3.1.4.3.2</b>	Capitel P2
<b>1.5.3.6.3.1.5</b>	<b>P3</b>
<b>1.5.3.6.3.1.5.1</b>	Execução das Estacas P3

1.5.3.6.3.1.5.2	Execução da Fundação P3
1.5.3.6.3.1.5.3	<b>Execução do Pilar P3</b>
1.5.3.6.3.1.5.3.1	Fuste P3
1.5.3.6.3.1.5.3.2	Capitel P3
1.5.3.6.3.1.6	<b>P6</b>
1.5.3.6.3.1.6.1	TRABALHOS DE ARQUEOLOGIA
1.5.3.6.3.1.6.2	Execução das Estacas P6
1.5.3.6.3.1.6.3	Execução da Fundação P6
1.5.3.6.3.1.6.4	Execução do Pilar P6
1.5.3.6.3.1.7	<b>P4</b>
1.5.3.6.3.1.7.1	Execução da Fundação P4
1.5.3.6.3.1.7.2	<b>Execução do Pilar P4</b>
1.5.3.6.3.1.7.2.1	Fuste P4
1.5.3.6.3.1.7.2.2	Capitel P4
1.5.3.6.3.1.8	<b>P5</b>
1.5.3.6.3.1.8.1	Execução da Fundação P5
1.5.3.6.3.1.8.2	<b>Execução do Pilar P5</b>
1.5.3.6.3.1.8.2.1	Fuste P5
1.5.3.6.3.1.8.2.2	Capitel P5
1.5.3.6.3.1.9	<b>E7</b>
1.5.3.6.3.1.9.1	Execução da Fundação E7
1.5.3.6.3.1.9.2	Execução do Pilar E7
1.5.3.6.3.2	<b>Execução do Tabuleiro</b>
1.5.3.6.3.2.1	<b>Estrutura Metálica</b>
1.5.3.6.3.2.1.1	<b>Pré-montagem em Obra e Montagem de Torres</b>
1.5.3.6.3.2.1.1.1	Pré-montagem TR01 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.2	Pré-montagem TR02 VSO

## CAPÍTULO 3

1.5.3.6.3.2.1.1.3	Pré-montagem TR03 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.4	Pré-montagem TR04 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.5	Pré-montagem TR05 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.6	Pré-montagem TR06 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.7	Pré-montagem TR07 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.8	Pré-montagem TR08 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.9	Pré-montagem TR09 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.10	Pré-montagem TR10 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.11	Pré-montagem TR11 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.12	Pré-montagem TR12 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.13	Pré-montagem TR13 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.14	Pré-montagem TR14 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.15	Pré-montagem TR15 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.16	Pré-montagem TR16 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.17	Pré-montagem TR17 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.18	Pré-montagem TR18 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.19	Pré-montagem TR19 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.20	Pré-montagem TR20 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.21	Pré-montagem TR21 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.22	Pré-montagem TR22 VSO
1.5.3.6.3.2.1.1.23	Pré-montagem TR23 VSO
1.5.3.6.3.2.1.2	<b>Montagem e soldadura dos Tramos</b>
1.5.3.6.3.2.1.2.1	TR01+TR02+Nariz VSO - Fase 1
1.5.3.6.3.2.1.2.2	TR03 VSO - (K267)
1.5.3.6.3.2.1.2.3	TR04 VSO
1.5.3.6.3.2.1.2.4	TR05+TR06 VSO - (K56)
1.5.3.6.3.2.1.2.5	TR07+TR08 VSO

1.5.3.6.3.2.1.2.6	TR09+TR10 VSO - (K45)
1.5.3.6.3.2.1.2.7	TR11+TR12 VSO
1.5.3.6.3.2.1.2.8	TR13+TR14 VSO - (K34)
1.5.3.6.3.2.1.2.9	TR15+TR16 VSO
1.5.3.6.3.2.1.2.10	TR17+TR18 VSO - (K23)
1.5.3.6.3.2.1.2.11	TR19+TR20+TR21 VSO
1.5.3.6.3.2.1.2.12	TR22+TR23 VSO
1.5.3.6.3.2.1.3	<b>Montagem das Torres Provisórias</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.1	<b>Torre K67</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.1.1	Fundação - Torre K67
1.5.3.6.3.2.1.3.1.2	Montagem - Torre K67
1.5.3.6.3.2.1.3.1.3	Desmontagem - Torre K67
1.5.3.6.3.2.1.3.2	<b>Torre K56</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.2.1	Fundação - Torre K56
1.5.3.6.3.2.1.3.2.2	Montagem - Torre K56
1.5.3.6.3.2.1.3.2.3	Desmontagem - Torre K56
1.5.3.6.3.2.1.3.3	<b>Torre K45</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.3.1	Fundação - Torre K45
1.5.3.6.3.2.1.3.3.2	Montagem - Torre K45
1.5.3.6.3.2.1.3.3.3	Desmontagem - Torre K45
1.5.3.6.3.2.1.3.4	<b>Torre K34</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.4.1	Fundação - Torre K34
1.5.3.6.3.2.1.3.4.2	Montagem - Torre K34
1.5.3.6.3.2.1.3.4.3	Desmontagem - Torre K34
1.5.3.6.3.2.1.3.5	<b>Torre K23</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.5.1	Fundação - Torre K23
1.5.3.6.3.2.1.3.5.2	Montagem - Torre K23

## CAPÍTULO 3

1.5.3.6.3.2.1.3.5.3	Desmontagem - Torre K23
<b>1.5.3.6.3.2.1.3.6</b>	<b>Torre K12A e K12B</b>
1.5.3.6.3.2.1.3.6.1	Fundação - Torres K12A e K12B
1.5.3.6.3.2.1.3.6.2	Montagem - Torres K12A e K12B
1.5.3.6.3.2.1.3.6.3	Desmontagem - Torres K12A e K12B
<b>1.5.3.6.3.2.2</b>	<b>Betonagem do Tabuleiro</b>
<b>1.5.3.6.3.2.2.1</b>	<b>Betonagem do Tabuleiro (Fase 1)</b>
1.5.3.6.3.2.2.1.1	Betonagem Tramos 6, 5, 4 (Fase 1) VSO
1.5.3.6.3.2.2.1.2	Betonagem Tramos 3, 2 e 1 (Fase 1) VSO
<b>1.5.3.6.3.2.2.2</b>	<b>Betonagem do Tabuleiro (Fase 2 e 3)</b>
1.5.3.6.3.2.2.2.1	Betonagem Tramos 6, 5, 4 (Fase 2) VSO
1.5.3.6.3.2.2.2.2	Betonagem Tramos 3, 2, 1 (Fase 2) VSO
<b>1.5.3.7</b>	<b>Fase 3 - Acabamentos Inclui reposição de IP</b>
1.5.3.7.1	Via de Resguardo (VRT) + Acesso Norte (VAN) - Inclui Drenagem do VAN
1.5.3.7.2	Viaduto de Santo Ovídio (VSO) - Inclui Drenagem

---

## 4.2 EVM – APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Conforme previamente mencionado, a incidência de estudo do presente Relatório foi baseada no Projeto Viaduto de Santo Ovídio. As WBS demonstradas nos subcapítulos anteriores serviu de base para o cálculo do *Earned Value Management* e as suas respectivas métricas.

É imperativo notar que todos os cálculos efetuados são de teor académico, deste modo, este documento, embora seja o mais aproximado à realidade possível não pode ser considerado evidência do estado real do Projeto. Adicionalmente, por motivos de confidencialidade, são apenas apresentados os indicadores de performance do Projeto calculados através do EVM.

Para além disso, o estudo do custo do Projeto (*Actual Cost*) não indica os custos diretos e indiretos do empreiteiro no Projeto, ou seja, neste caso de estudo a abordagem de identificação do AC foi realizada na ótica de investimento do Cliente.

### 4.2.1 Metodologia de investigação

O estudo do EVM do Projeto Viaduto de Santo Ovídio foi dividido em cinco etapas de trabalho, infra descritas.

- 1) Identificar e analisar o Plano de trabalhos do Projeto Linha Amarela do Metro do Porto;
- 2) Calcular o EVM do Projeto Viaduto de Santo Ovídio de acordo com o Plano de Trabalhos do Projeto (confidencial);
- 3) Atualizar o Plano de Trabalhos considerando a nova metodologia construtiva do VSO (Plano de Trabalhos de teor académico);
- 4) Balizar o Projeto de acordo com o novo Plano de Trabalhos;
- 5) Analisar os resultados.

O Plano de Trabalhos do Projeto Linha Amarela do Metro do Porto no seu conceito inicial não contemplava a metodologia construtiva do lançamento incremental da estrutura metálica. Por consequência, quando foi analisado o balizamento do Plano de Trabalhos relativo aos meses de março, abril e maio de 2022, o indicador SPI apresentava índices baixos que não correspondiam à realidade do Projeto.

Foi então necessário fazer uma adaptação do Plano de Trabalhos, utilizando a WBS do viaduto de Santo Ovídio descrita no capítulo anterior, adicionando um componente essencial, a execução do parque de deslize. Esta alteração de metodologia construtiva não altera apenas o

## CAPÍTULO 3

VSO, mas afeta também a sequência construtiva do VAN e VRT, resultando numa “rebaseline” (teórica) do Projeto do viaduto de Santo Ovídio.

Através deste novo Plano de Trabalhos, e com os dados obtidos do balizamento quinzenal do Projeto, foi então possível fazer a avaliação do EVM do Projeto durante os meses de março, abril e maio.

O subcapítulo seguinte apresenta as conclusões deste estudo concluído mensalmente através de balizamentos quinzenais.

### 4.2.2 Balizamento Março 2022

Durante a análise do mês de março diversas atividades ocorreram nas três frentes de obra, VRT, VAN e VSO.

No Viaduto de Resguardo em Trincheira, trabalhos de demolição da laje de pavimento do antigo tabuleiro (Figura 3-29) foram executados e concluídos durante o mês referido.



Figura 4-29 - Trabalhos de Demolição VRT

Na frente de obra do Viaduto de Acesso Norte, diversos trabalhos foram executados nos diferentes elementos conforme abaixo descrito.

#### 1. Encontro E1

- Demolição de cabeça de estacas e saneamento das mesmas;

- Ensaios sónicos e Cross-Hole para verificação da qualidade das estacas;
- Armadura, Cofragem e Betonagem do Maciço de fundação (Figura 3-30);
- Aplicação de impermeabilização e aterro do maciço de fundação.



Figura 4-30-Encontro E1

## 2. Pilar P1N

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação;
- Aplicação de impermeabilização e aterro do maciço de fundação (Figura 3-31).



Figura 4-31 - Aterro Pilar maciço de fundação P1N

### 3. Pilar P2N

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação (Figura 3-32);
- Aplicação de impermeabilização e aterro do maciço de fundação.



Figura 4-32 - Maciço de Fundação Pilar P2N

#### 4. Pilar P3N

- Início de trabalhos de armadura do capitel (Figura 3-33).



Figura 4-33 - Armadura Fase 1 Pilar P3N

Na frente de obra do viaduto de Santo Ovídio, os trabalhos executados durante o mês de março são abaixo descritos.

##### 1. Pilar PT1

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de arranque do capitel;
- Armadura das fases 1 e 2 do capitel;
- Início da cofragem da fase 1 (Figura 3-34).



Figura 4-34 - Cofragem Fase1 Pilar PT1

## 2. Pilar P2

- Execução do muro de contenção tipo muro de Berlim (Figura 3-35).



Figura 4-35- Execução de Muro de Berlim Pilar P2

### 3. Pilar P3

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação;
- Impermeabilização e aterro do maciço de fundação;
- Execução da armadura da fase 1 e 2 do fuste (Figura 3-36).



Figura 4-36 - Armadura Fase 1 e 2 Pilar P3

### 4. Pilar P4

- Execução do muro de contenção tipo “Berlim”;
- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação (Figura 3-37);
- Impermeabilização e aterro do maciço de fundação.



Figura 4-37 - Armadura do maciço de fundação Pilar P4

#### 5. Pilar P5

- Execução de plataforma ao nível do capitel (Figura 3-38).



Figura 4-38 - Pilar P5

## 6. Pilar P6

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação (Figura 3-39);
- Impermeabilização e aterro do maciço de fundação.



Figura 4-39 - Maciço de fundação Pilar P6

#### 7. Encontro E7

- Cofragem e Betonagem da Fase 1 do Encontro E7;
- Impermeabilização (Figura 3-40).



Figura 4-40 - Impermeabilização Encontro E7

## 8. Parque de Deslize

- Execução dos muros de contenção tipo “Berlim”;
- Escavação até à “cota do limpo” (Figura 3-41);
- Escavação, armadura, cofragem e betonagem das sapatas de fundação do parque.



Figura 4-41 - Parque de Deslize

### CAPÍTULO 3

As atividades descritas fazem parte do balizamento executado no mês de março. Através do Plano de Trabalhos desenvolvido para efeitos do presente Relatório e dos dados fornecidos pela Organização adjudicatária, foram calculados os indicadores representados nas Figuras 3-42 a 3-44 nas datas de balizamento de 04 de março e 18 de março 2022.

Por questões de confidencialidade não serão apresentados resultados de análise de causa raiz sobre potenciais atrasos.

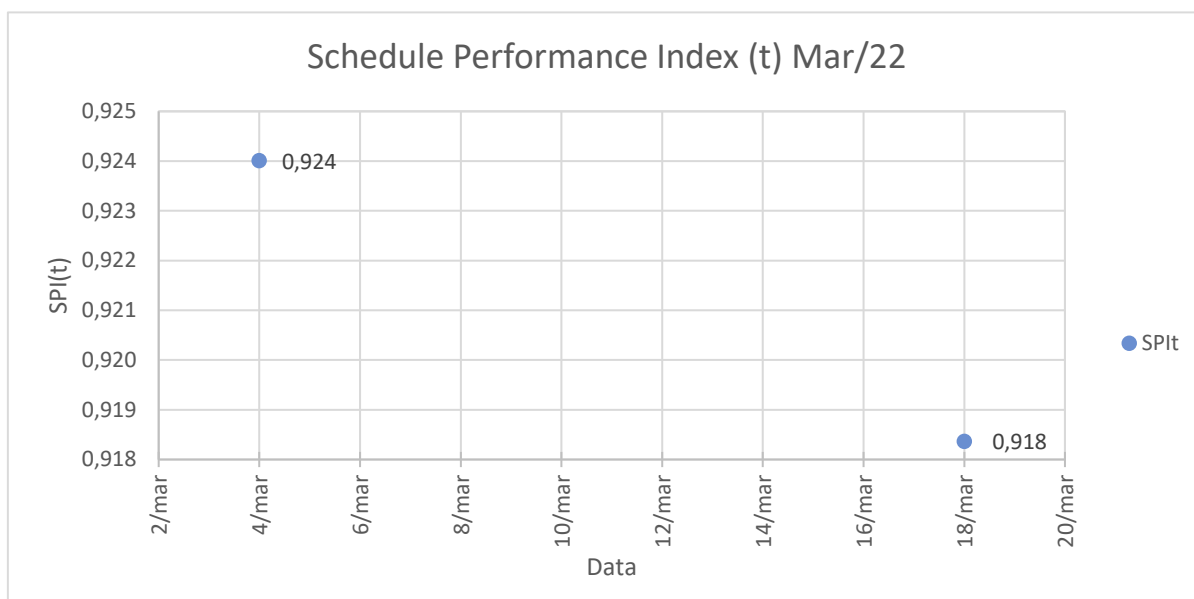


Figura 4-42 - Schedule Performance Index (t) março 2022

Conforme pode ser observado no indicador de *Schedule Performance Index* calculado através do fator tempo, utilizando a métrica do *Earned Schedule*, o Projeto no mês de março apresenta um atraso face ao plano de trabalhos.

Este atraso representado na Figura 3-43, corresponde a um mês, i.e., à data de balizamento de 18 de março de 2022, o *Earned Schedule* era correspondente a 18 de fevereiro de 2022.

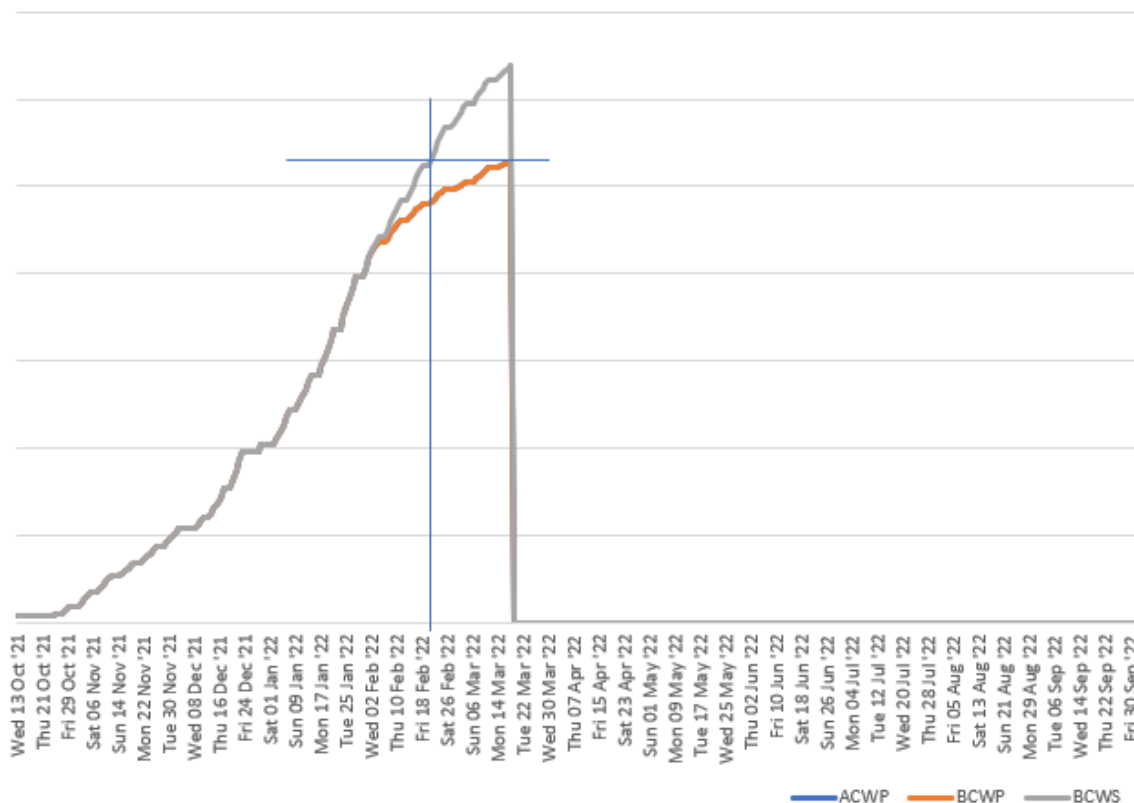


Figura 4-43 – Earned Schedule 18 março 2022

Tendo em conta que o CPI do Projeto foi calculado na ótica do Dono de Obra, e considerando o orçamento base para o Projeto Viaduto Santo Ovídio, a Figura 3-44 indica a existência de trabalhos complementares no Projeto. Estes trabalhos complementares não constavam no âmbito inicial do projeto e do respetivo Mapa de Trabalhos e Quantidades, tendo sido identificados como erros e emissões, em parte referentes à alteração da metodologia construtiva do VSO.

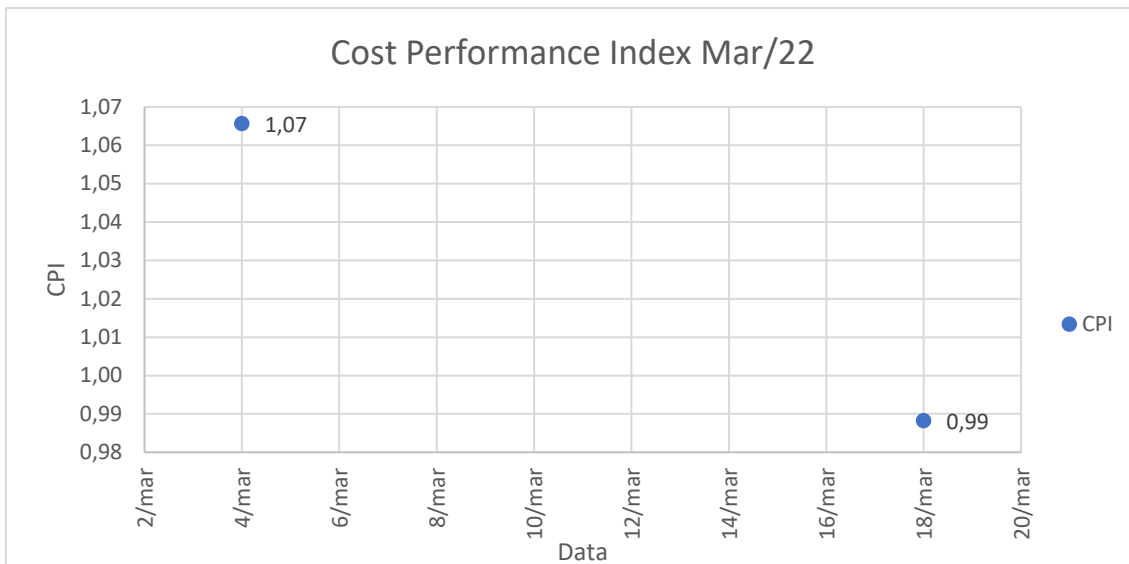


Figura 4-44 - Cost Performance Index março 2022

#### 4.2.3 Balizamento Abril 2022

Apresentam-se neste subcapítulo o progresso das diferentes obras de arte e os resultados do balizamento do mês de abril 2022.

Na frente de obra do VRT foram iniciados trabalhos de montagem de cimbra (Figura 3-45) no final do mês em análise.



Figura 4-45- Montagem do cimbra tabuleiro VRT

Na frente de obra do VAN, foram executados diversos trabalhos nos diferentes elementos conforme abaixo descrito.

### 1. Encontro 1

- Armadura dos muros laterais do Encontro (Figura 3-46).



Figura 4-46 - Armadura dos muros laterais do Encontro 1

### 2. P1N

- Não foram executados trabalhos neste elemento durante o mês de abril.

### 3. P2N

- Montagem de andaimes para execução de armaduras.



Figura 4-47 - Montagem de Andaime Pilar P2N  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

#### 4. Pilar P3N

- Execução de armaduras fase 1 e 2 do pilar P3N e início da atividade de cofragem (Figura 3-48).

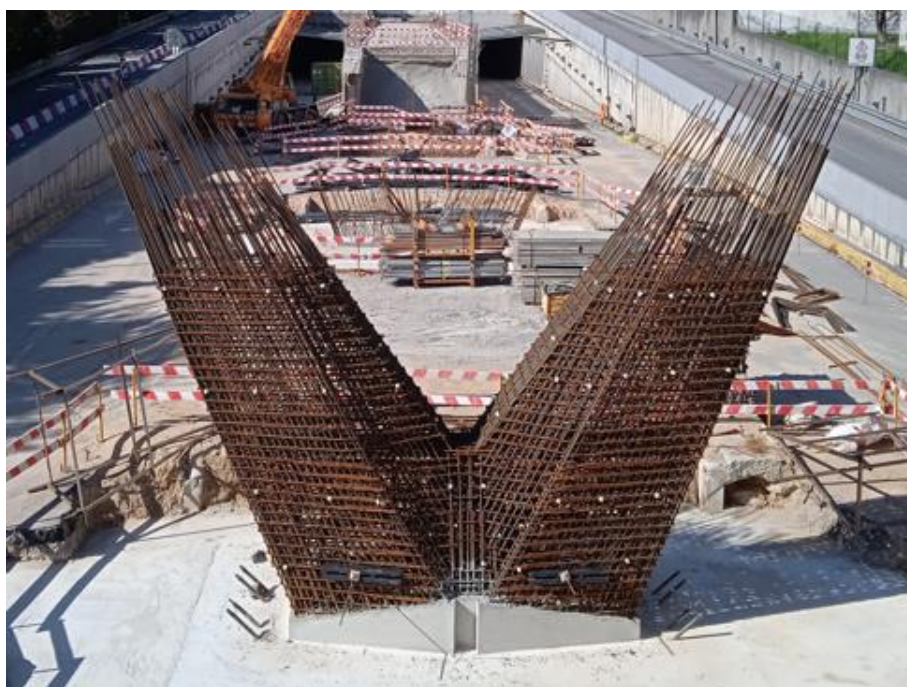


Figura 4-48 – Execução de Armadura Fase 1 e 2 Pilar P3N  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

Na frente de obra do viaduto de Santo Ovídio, os trabalhos executados durante o mês de abril são abaixo descritos.

### 1. Pilar PT1

- Betonagem do capitel fase 1 e 2;
- Execução da Armadura fase 3;
- Aplicação de cabos de pré-esforço, negativos para aparelhos de apoio e batentes sísmicos;
- Betonagem capitel fase 3 (Figura 3-49).



Figura 4-49 - Betonagem Fase 3 capitel PT1  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

### 2. Pilar P2

- Conclusão de muro de contenção tipo “Berlim”;
- Escavação;
- Demolição da cabeça de estacas;
- Ensaio sísmico e cross-hole.
- Reparação de estacas não conformes;
- Armadura de maciço de fundação (Figura 3-50).



Figura 4-50 - Armadura maciço de fundação P2

### 3. Pilar P3

- Cofragem e betonagem fuste fase 1;
- Cofragem e betonagem fuste fase 2;
- Execução da armadura, cofragem e betonagem fase 3.



Figura 4-51 - Betonagem fuste fase 3 Pilar P3

#### 4. Pilar P4

- Execução da armadura fuste fase 1 e 2 (Figura 3-52).



Figura 4-52 - Execução da armadura do fuste fase 1 e 2 Pilar P4

#### 5. Pilar P5

- Não foi executada qualquer atividade neste elemento durante o mês de abril.

#### 6. Pilar P6

- Aterro e impermeabilização do maciço de fundação;
- Execução da armadura das fases 1 e 2 do capitel;
- Betonagem do maciço de arranque do capitel (Figura 3-53).



Figura 4-53 - Betonagem maciço de arranque Pilar P6

#### 7. Encontro E7

- Aterro do Encontro E7;
- Execução de muro de alvenaria para contenção de terras (Figura 3-54).



Figura 4-54 - Execução de muro de alvenaria. Encontro E7

## 8. Parque de deslize

- Execução de fundações do parque;
- Execução da estrutura (incluído pilares, asnas, travamentos e madres de cobertura) Figura 3-55;
- Escavação de lintéis de deslize para lançamento incremental.



Figura 4-55 - Montagem Parque de Deslize

As atividades descritas fazem parte do balizamento executado no mês de abril. Através do Plano de Trabalhos desenvolvido para efeitos do presente Relatório e dos dados fornecidos pela Organização, foram calculados os indicadores representados nas Figuras 3-56 a 3-58 nas datas de balizamento de 08 de abril e 22 de abril 2022.

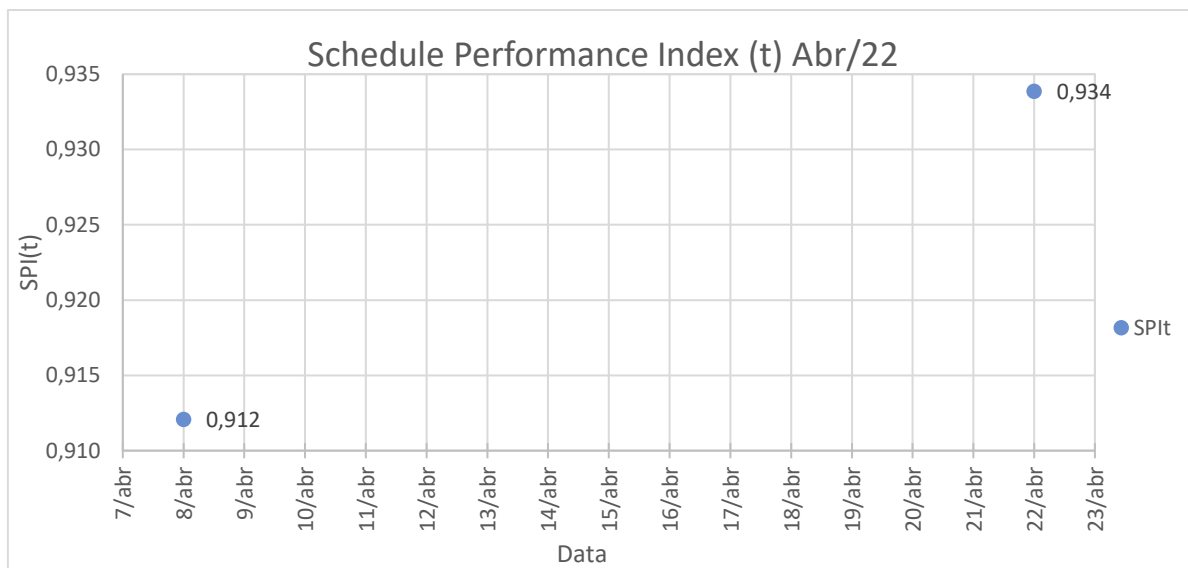


Figura 4-56 - Schedule Performance Index (t) abril 2022

Conforme pode ser observado na Figura 3-56, à data de balizamento de 08 de abril 2022 o Projeto encontra-se atrasado relativamente ao seu plano base. Este atraso é correspondente a cinco semanas, e vai sendo recuperado ao longo das semanas sucessoras. À data de 22 de abril 2022, o aumento do SPI(t) traduz-se numa recuperação de tempo de 1 semana. A Figura 3-57 representa o atraso de quatro semanas observado no balizamento de 22 de abril 2022 através do *Earned Schedule*.

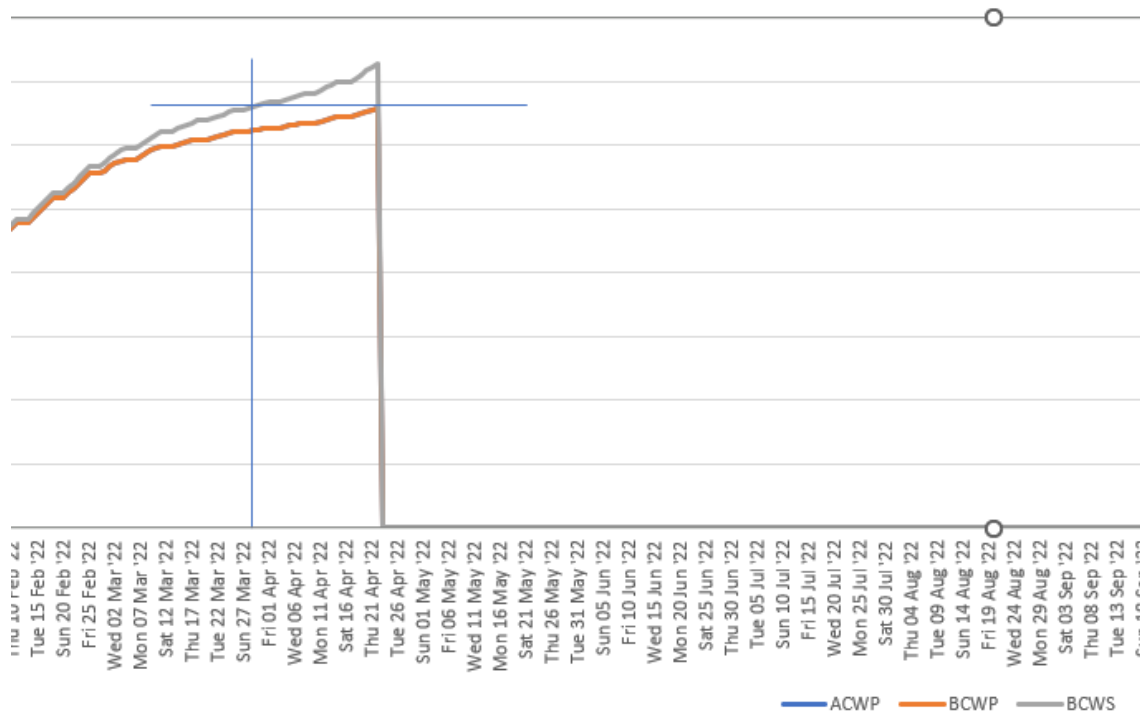


Figura 4-57 - Earned Schedule 22 abril 2022

A Figura 3-58 representa o CPI, calculado na ótica do Dono de Obra, conforme previamente referido. O valor abaixo de 1 indica a existência de trabalhos complementares, que são referentes à alteração da metodologia construtiva e por consequência à construção do Parque de deslize.

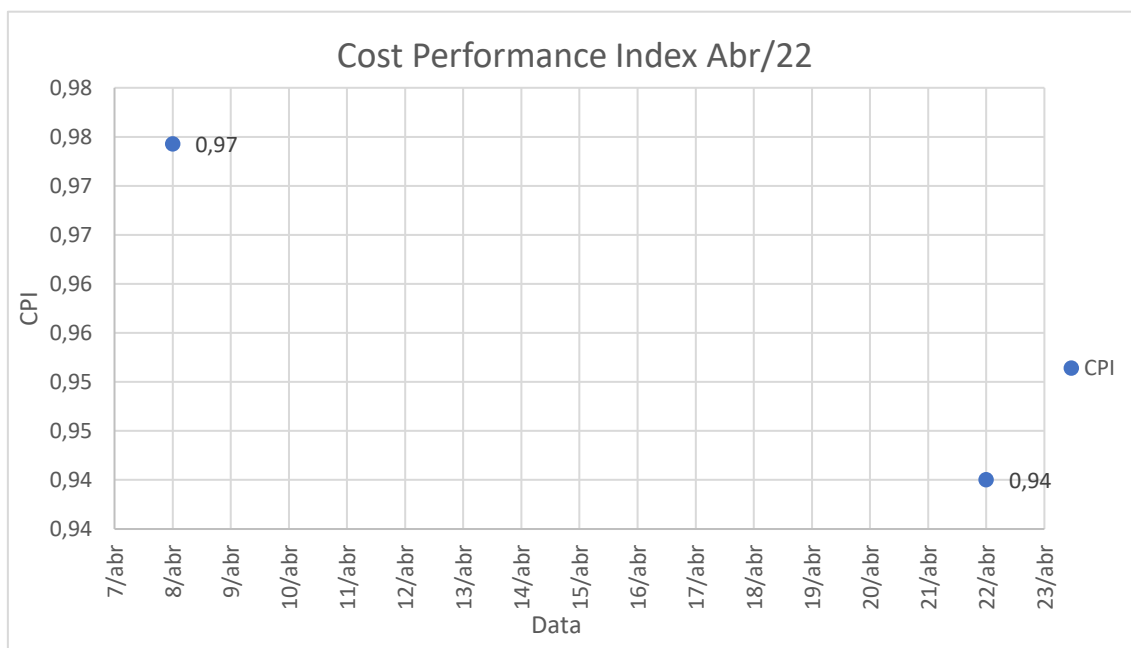


Figura 4-58 - *Cost Performance Index* abril 2022

#### 4.2.4 Balizamento Maio 2022

O mês de maio corresponde ao último balizamento feito no âmbito do presente Relatório. Durante este período de tempo, diversas atividades ocorreram nas três frentes de obra, conforme descrito no presente subcapítulo.

Na Via de Resguardo em Trincheira (VRT), os trabalhos de execução do cimbra continuaram na fase 1 do tabuleiro, tanto a Nascente como Poente. Foram também colocados os aparelhos de apoio e executada a camada de betão de regularização (Figura 3-59) na base da plataforma previamente demolida.



Figura 4-59 - Aplicação de camada de regularização do tabuleiro do VRT  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

Na frente de obra do VAN, diversos trabalhos foram executados nos diferentes elementos conforme abaixo descrito.

### 1. Encontro E1

- Cofragem e Betonagem dos muros laterais do Encontro (Figura 3-60).



Figura 4-60 - Encontro E1  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

## 2. Pilar P1N

- Montagem de andaime para início de atividade de armadura fase 1 e 2 (Figura 3- 61).



Figura 4-61 - Pilar P1N Montagem de andaime

## 3. Pilar P2N

- Montagem de armadura Fase 1 e 2;
- Cofragem Fase 1 (Figura 3-62).



Figura 4-62 - Cofragem Pilar P2N

#### 4. Pilar P3N

- Cofragem e betonagem Fase 1 e 2 do pilar;
- Execução da armadura de 3 fase, colocação de aparelhos de apoio;
- Betonagem 3 fase e aplicação de pré-esforço na carlinga;
- Descofragem do Pilar P3N (Figura 3-63).

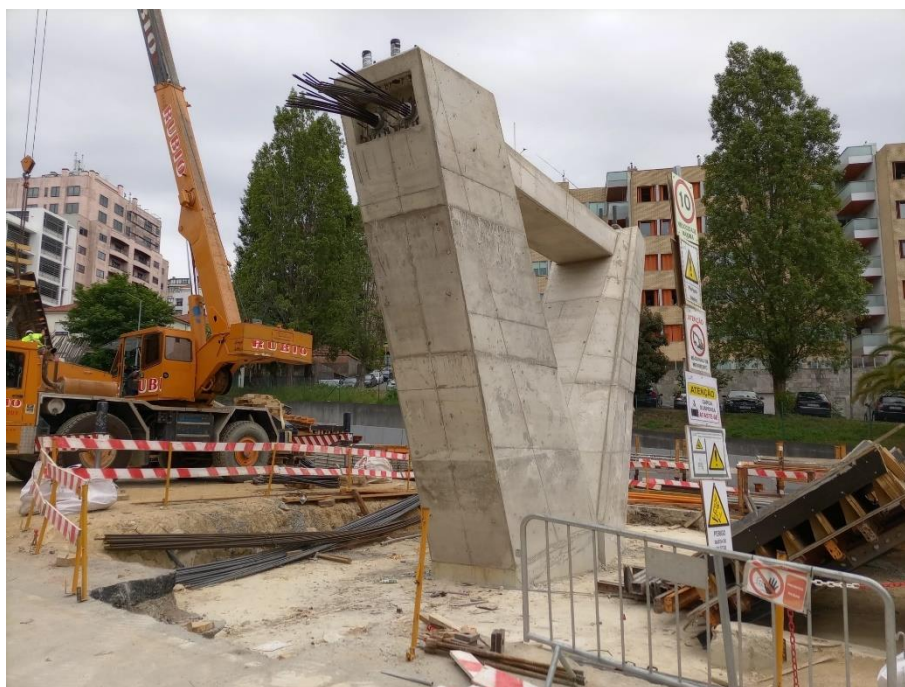


Figura 4-63 - Pilar P3N

Na frente de obra do VSO, os trabalhos executados durante o mês de maio são abaixo descritos.

#### 1. Pilar PT1

- Betonagem na zona de apoios e batentes sísmicos;
- Aplicação de pré-esforço na carlinga;
- Descofragem do Pilar PT1 (Figura 3-64).



Figura 4-64 - Pilar PT1

## 2. Pilar P2

- Armadura, cofragem e betonagem do maciço de fundação.
- Impermeabilização e aterro do maciço de fundação.
- Armadura da fase 1 do fuste do Pilar P2 (Figura 3-65).



Figura 4-65 - Armadura do fuste fase 1 Pilar P2

### 3. Pilar P3

- Armadura, cofragem e betonagem da fase 4 do fuste do Pilar;
- Descofragem do fuste do Pilar (Figura 3-66).



Figura 4-66 - Pilar P3

### 4. Pilar P4

- Devido a problemas construtivos, a fase 1 e 2 da armadura do fuste foram demolidas (Figura 3-67);
- Após corte da armadura, foi então reexecutada a armadura da fase 1 do fuste.



Figura 4-67 - Restabelecimento da armadura do Fuste Pilar P4

**5. Pilar P5**

- Não foram executadas atividades neste elemento durante o mês de maio.

**6. Pilar P6**

- Continuação da atividade de armadura fase 2 do capitel;
- Cofragem e betonagem fase 1 e 2 do capitel;
- Início da cofragem fase 3 do capitel (Figura 3-68).



Figura 4-68 - Cofragem 3 fase capitel P6  
(Fotografia de Eng. Artur Patrão)

## 7. Encontro E7

- Execução de hidrodemolição no Encontro (Figura 3-69).



Figura 4-69 - Hidrodemolição no Encontro E7

## 8. Parque de Deslize

- Execução de fundações do parque;
- Execução da estrutura (incluído pilares, asnas, travamentos e madres de cobertura);
- Execução de revestimentos de cobertura e fachada;
- Instalação de pontes rolantes;
- Execução de plataforma de descarga (Figura 3-70);
- Escavação, armadura, cofragem e betonagem de lintéis de deslize para lançamento incremental (Figura 3-70);
- Escavação, armadura, cofragem e betonagem de carris de transporte.



Figura 4-70 - Parque de Deslize maciço de reação e plataforma de descarga

As atividades descritas fazem parte do balizamento executado no mês de maio. Através do plano de trabalhos desenvolvido para efeitos do presente Relatório e dos dados fornecidos pela organização, foram calculados os indicadores representados nas Figuras 3-71 a 3-73 nas datas de balizamento de 06 de maio e 30 de maio 2022.

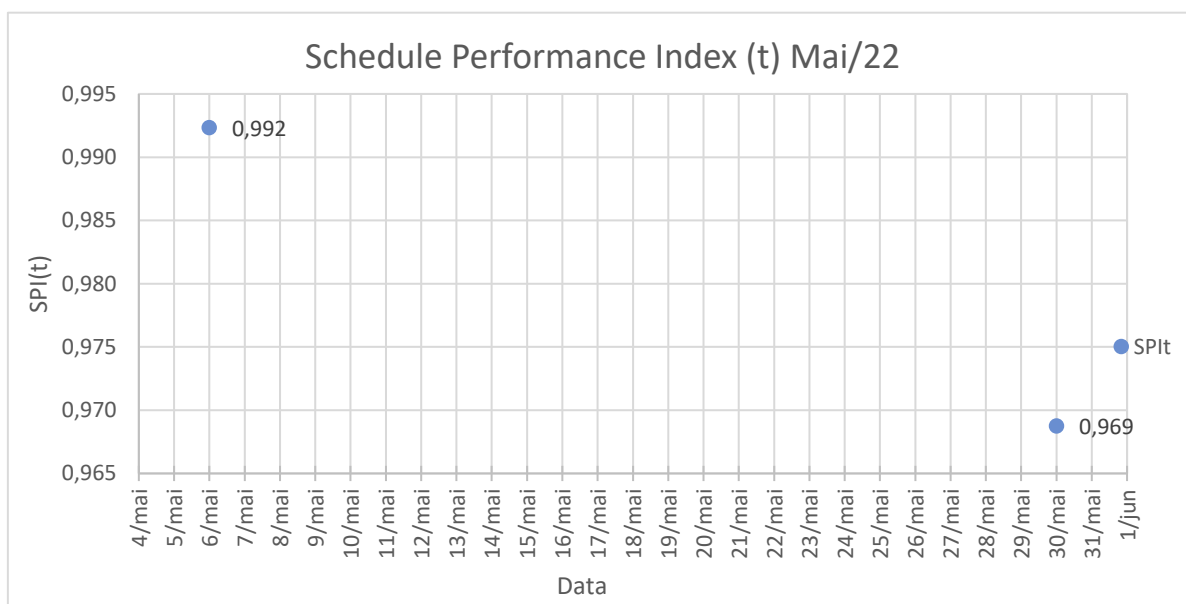


Figura 4-71 - Schedule Performance Index (t) maio 2022

CAPÍTULO 3

Conforme pode ser observado na Figura 3-71, existe uma recuperação significativa do atraso de 4 semanas indicado no último balizamento do mês de abril. Esta recuperação deve-se ao trabalho realizado no parque de deslize, que faz parte do caminho critico do Plano de Trabalhos realizado no âmbito do presente Relatório. Durante o decorrer do mês de maio, este indicador apresenta um retrocesso comparativamente ao primeiro balizamento de 06 de maio 2022. Estas diferenças correspondem a atrasos de uma semana no primeiro balizamento e duas semanas no segundo (Figura 3-72).

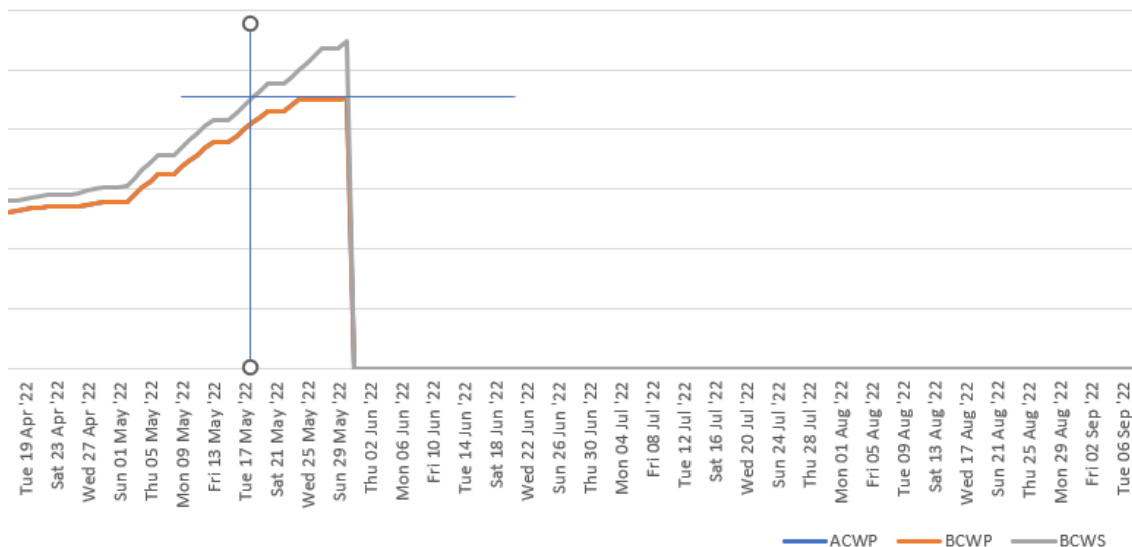


Figura 4-72 - Earned Schedule 30 de maio 2022

A Figura 3-73 representa o CPI, calculado na ótica do Dono de Obra. O resultado abaixo de 1 indica a existência de trabalhos complementares, que são referentes à alteração da metodologia construtiva e por consequência à construção do Parque de deslize.

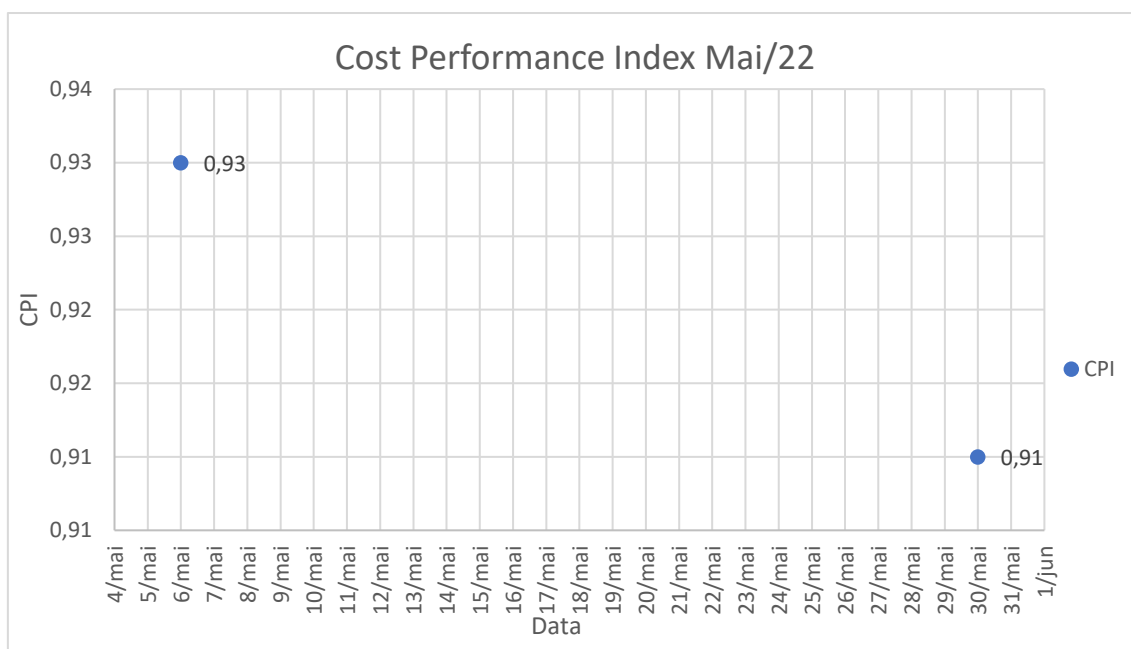


Figura 4-73 - Cost Performance Index maio 2022

#### 4.2.5 Análise Global

Neste subcapítulo apresenta-se os resultados globais aos valores registados no decorrer do período de estágio. A Figura 3-74 representa o *Schedule Performance Index* (SPI) calculado em unidades de tempo através da métrica do *Earned Schedule*.

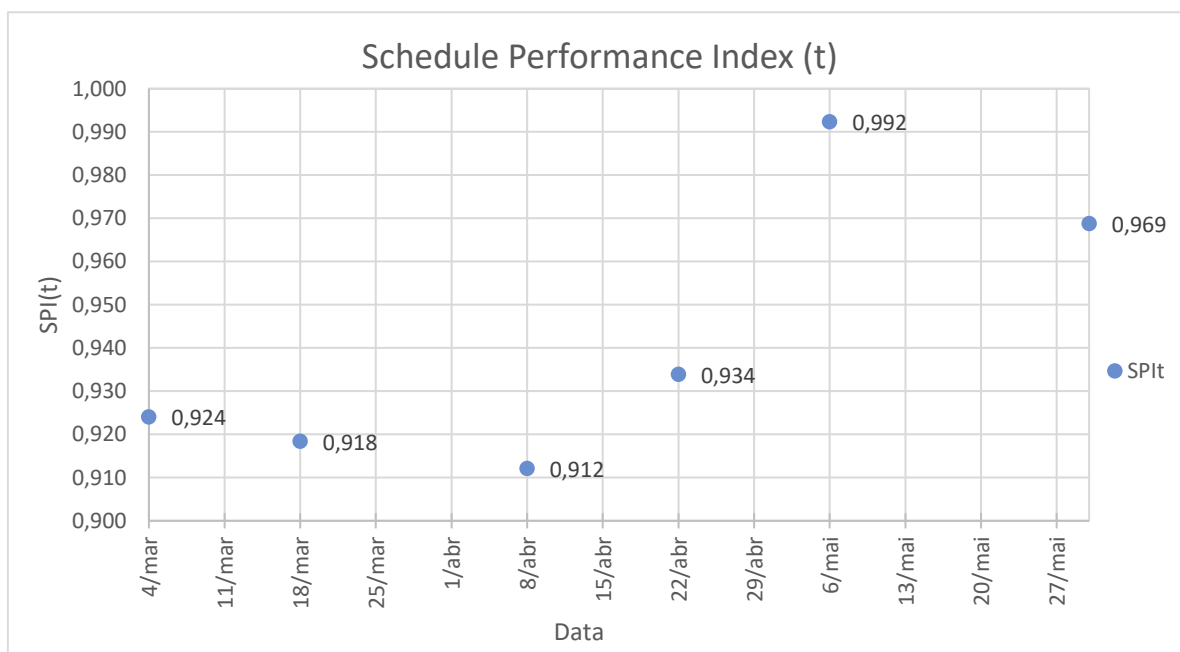


Figura 4-74 - Análise Global SPI(t)

### CAPÍTULO 3

Conforme pode ser observado na Figura 3-74, no início dos balizamentos realizados no presente caso de estudo o Projeto apresentava um ligeiro atraso correspondente a 4 semanas comparado ao plano de trabalhos.

No decorrer dos seguintes meses, é possível verificar que o Projeto atinge um pico de desvio no balizamento de 8 de abril de 2020 que corresponde a 5 semanas.

No entanto, nota-se que nos balizamentos seguintes, existe uma melhoria significativa da performance do Projeto do Viaduto de Santo Ovídio, sendo que no seu pico, correspondente a 6 maio de 2022, o Projeto apresenta apenas 1 semana de atraso comparativamente ao seu plano de trabalhos.

A 30 de Maio de 2022 o SPI(t) indica que o Projeto tem duas semanas de desvio, estas variações correspondem à execução do Parque de Deslize que é a atividade do caminho crítico nesta fase de Projeto.

É importante notar que o plano de trabalhos supracitado, foi desenvolvido pelo autor e é de teor académico.

A Figura 3-75 traduz a variação do *Cost Performance Index* durante o decorrer da análise executada para o presente Relatório.

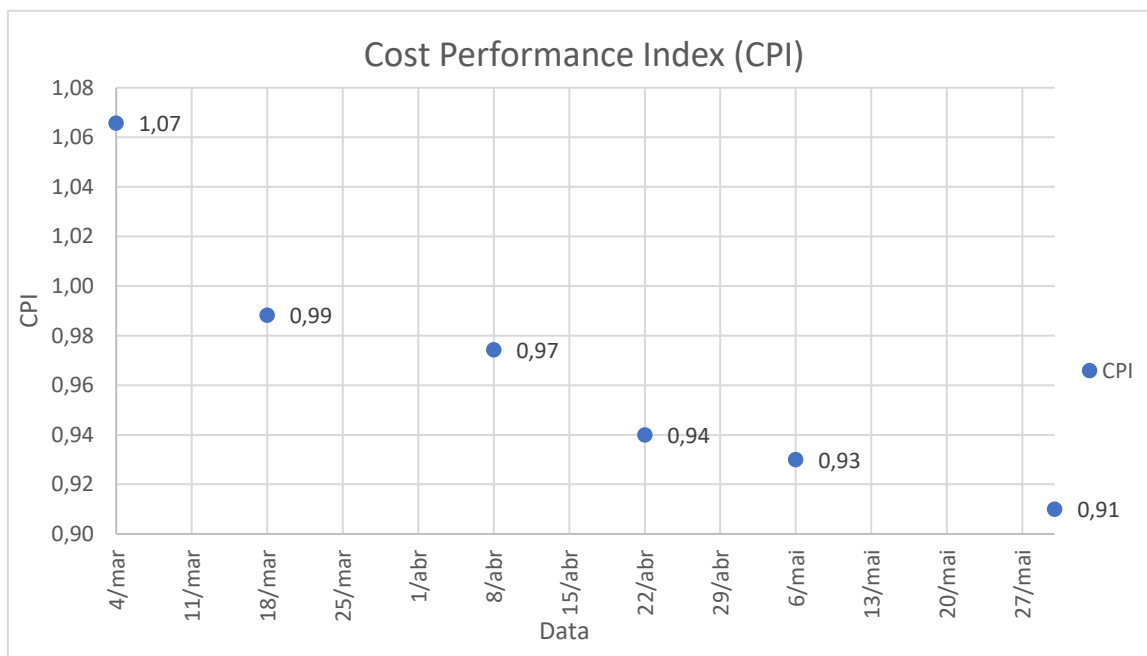


Figura 4-75 - Análise Global CPI

Conforme previamente descrito, a análise do CPI do presente Relatório foi efetuada na ótica do Dono de Obra, o que implica que o seu resultado abaixo de 1 indica a existência de trabalhos complementares.

De acordo com o Código de Contratos Públicos, artigo 370º, nº 1, “São trabalhos complementares aqueles cuja espécie ou quantidade não esteja prevista no contrato”.

Devido à existência de trabalhos complementares, é natural que este indicador que se encontra abaixo de 1 não volte a recuperar. Assim sendo, o seu comportamento poderá apenas manter-se igual ao valor mais baixo dos balizamentos, ou caso existam mais trabalhos complementares continue a reduzir.

No entanto, neste caso particular não indica uma má performance do Projeto. Embora os trabalhos complementares já tenham sido identificados, ainda não faziam parte do plano de trabalhos em análise<sup>1</sup>.

Os trabalhos complementares supracitados surgiram, em boa parte, na sequência de alguns dos trabalhos necessários às alterações no processo construtivo.

Não poderão ser divulgadas mais informações referentes a trabalhos complementares devido à confidencialidade do Projeto.

---

<sup>1</sup> De acordo com a informação recolhida pelo autor que por motivos previamente citados não pode ser divulgada, este indicador no decorrer do Projeto irá descer até um pico de 0,878.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Com o objetivo de investigar e aplicar a ferramenta do *Earned Value Management* no âmbito de um Projeto de construção de infraestruturas ferroviárias, o presente Relatório descreveu ao longo dos seus capítulos, a metodologia de aplicação do EVM, assim como a sua utilização num caso prático.

São reconhecidos os desafios relacionados com a confidencialidade da informação, no entanto, não são apenas estes desafios que interessa destacar neste Relatório.

A criação de um Plano de Trabalhos de teor académico que se aproxime o mais possível da realidade, sem pôr em causa o seu carácter científico, assim como a apresentação dos resultados através de informação obtida dos balizamentos quinzenais e transposta para um novo Plano, recriando as condições expectáveis para a *baseline* proposta, são obstáculos ocultos que fizeram parte integrante do objetivo atingido durante o desenvolvimento deste documento.

Além dos obstáculos acima descritos, é importante notar que o presente Relatório foi desenvolvido fora do âmbito do estágio curricular que o autor se propôs. Embora tenha sido do interesse do autor desenvolver o tema do EVM, foi também sua opção o fazer enquanto estagiava no departamento de produção das obras de arte do Projeto, deste modo desenvolvendo competências em duas áreas distintas.

Não obstante do descrito nos parágrafos anteriores, os resultados obtidos na avaliação da performance do Projeto através dos indicadores de CPI e SPI(t) são satisfatórios do ponto de vista da sua precisão quando comparados com o estado real do Projeto.

Esta comparação, embora não possa ser divulgada, foi acompanhada e verificada pelo responsável do Departamento de Planeamento do Projeto.

É importante referenciar que estes resultados não podem caracterizar o Projeto no seu todo, visto que são apenas referentes à frente de obra do Viaduto de Santo Ovídio, que representa uma percentagem do Projeto global.

Complementarmente, não é possível, com base nos resultados obtidos para o Projeto Viaduto de Santo Ovídio, fazer qualquer interpretação das restantes frentes de obra do Projeto Linha Amarela do Metro do Porto. Isto deve-se ao número de variáveis de prazo e custo que não são diretamente proporcionais.

Quanto à análise dos resultados obtidos nos três meses de balizamento, foram observados alguns atrasos que não podem ser considerados significativos pelo seu comportamento e fase em que o Projeto se encontra.

O seu comportamento demonstra alguma recuperação ao longo do tempo, o que indica que medidas foram tomadas pela equipa de Gestão do Projeto para mitigar possíveis futuros atrasos.

O balizamento do Projeto Viaduto Santo Ovídio corresponde a uma fase inicial dos trabalhos, onde a construção da meso estrutura ainda se encontra a meio e não iniciou o lançamento incremental da estrutura do VSO, que representa uma porção significativa dos trabalhos.

A análise do CPI representa também um obstáculo visto que o seu desenvolvimento teve uma abordagem menos convencional, ao utilizar a ótica do Dono de Obra. Durante a análise de resultados verifica-se uma redução do CPI abaixo de 1, o que para o caso indica trabalhos complementares. Através de investigação, foi possível ao autor verificar que o valor destes trabalhos complementares estava dentro dos valores identificados nos erros e omissões.

O trabalho desenvolvido no presente Relatório através de um espaço de amostragem mais pequeno e com teor académico, serviu para reforçar a importância do EVM já descrita pelo PMI e diversos autores referenciados neste documento.

Deste modo, conclui-se que através da aplicação desta ferramenta é possível às organizações melhorarem o seu controlo de custos e tempo, e por consequência o seu planeamento a curto e longo prazo, assim como a performance geral dos seu Projetos e consequentemente da organização como um todo.

## 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O EVM é uma ferramenta que existe há mais de cinco décadas, tem sido alvo de diversos desenvolvimentos ao longo dos anos. É possível que esta ferramenta, que é considerada uma mais-valia na monitorização e controlo dos Projetos, ainda passará por mais atualizações e melhorias.

No entanto, para pensar no futuro, é necessário avaliar o presente, a ferramenta do *Earned Value Management* encontra-se bastante desenvolvida e quando aplicada corretamente é sem dúvida um fator de sucesso nos Projetos de construção civil, porém, o seu resultado está dependente da cultura da organização que o emprega.

Estando este fator intrinsecamente ligado ao EVM, é necessário apostar na formação e desenvolvimento das organizações e dos seus recursos para que se possa utilizar esta ferramenta, obtendo assim o máximo proveito das suas capacidades.

Embora os sistemas de Gestão de Projetos estejam bastante avançados em Portugal, quando comparado com alguns países em desenvolvimento, ainda há um longo caminho para se atingir os “standards” que tantos outros países têm implementados.

Será interessante para a comunidade científica fazer uma análise da evolução do EVM em Portugal. Essa análise poderá ter em conta o estado de desenvolvimento das organizações que o aplicam, deste modo podendo ser feita uma avaliação dos casos de falha/sucesso e uma identificação de futuras melhorias.

Assim, é do interesse do autor continuar a desenvolver competências no âmbito de Gestão de Projetos e do EVM em particular, seja pela certificação do PMP (Project Management Professionals), seja como futuro tema de desenvolvimento numa possível dissertação de Doutoramento.

## REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS

- Abassi A. & Jafaari A. (2017) - Evolution of Project Management as a Scientific Discipline;
- Brandão R. (2016) - Análise de Valor Agregado: Aplicação em projetos de construção civil no Brasil;
- Buyse, P.; Vandebussche, T.; Vanhoucke, M. (2009) Performance Analysis of Earned Value Management in the Construction Industry;
- Cardoso M. (2016) – Integração entre o EVM e a Gestão de Risco: Proposta de um framework automatizado.
- Chiu Y.C. (2010) – An introduction to the history of project management from earlier times to 1900 A.D.;
- Código dos Contratos Públicos 3ª Edição;
- Davis A. (2010) – Earned Schedule: An emerging Earned Value Technique;
- Darmody, P.B (2007) - Henry L. Gantt and Frederick Taylor: The Pioneers of Scientific Management;
- Documentos de Projeto de Execução da Linha Amarela do Metro do Porto elaborados pela GRID: Tomo 1 C – Arquitetura; Tomo 4 A – Túnel Mineiro; Tomo 5 A – Obras de Arte; Tomo 17 – Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução; Tomo 22 – Cláusulas técnicas especiais; PES 43 – Montagem da Estrutura Metálica do VSO; P619-NT-LI-AI-00-00-Viaduto Santo Ovidio -Lançamento Incremental - Memoria Descritiva; Metro do Porto – Linha D – Memória Descritiva e Justificativa: Sistema de Avanços Incrementais;
- Emídio A. (2017) – Proposta de implementação do “Earned Value Management” no setor da construção Civil;
- Farinha A. (2013) – Metodologia de Gestão Integrada de Prazos e Custos – Aplicação do Earned Value Management numa Obra

Fleming, Q.W., and Koppelman, J.M. (2002). "Using Earned Value Management to Mitigate the Risks with Construction";

[https://grupo-aca.juntadigital.com/o\\_grupo](https://grupo-aca.juntadigital.com/o_grupo); Acedido a 28/05/2022

<https://www.ferrovial.com/en/company/history/>; Acedido a 28/05/2022

<https://www.Gantt.com>; Acedido a 15/04/2022

<https://www.ipma.world/about-us/ipma-international/>; Acedido a 02/04/2022

<https://www.pmi.org/about/learn-about-pmi/history-of-pmi>; Acedido a 02/04/2022

Instituto Nacional de Estatísticas (INE) (2020). Estatísticas da Construção e Habitação;

Lipke W. (2003) – Schedule is different;

Lipke W. (2009) – Earned Schedule;

Lipke W. (2009) - Project Duration Forecasting: A Comparison of Earned Value Management Methods to Earned Schedule;

Lipke W. (2011) – Why Should CPI=1? (Publication PMWorld Today);

Lipke W. (2012) - Earned Schedule Contribution to Project Management;

Lipke W. (2017) – Assessing Earned Value Management and Earned Schedule Forecasting;

Ministério do Planeamento (2021) – Recuperar Portugal, construindo o futuro. Plano de Recuperação e Resiliência (PRR);

Morris P. (2013) - Reconstructing Project Management Reprised: A Knowledge Perspective;

Netto J., Oliveira N., Freitas A. & Santos J. (2017) – Utilização do valor agregado como ferramenta de gestão na construção: uma análise quantitativa.

Pajares J. & López-Paredes A. (2009) – An extension of the EVM analysis for Project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index

Pinto Faria J. (2020) – Planeamento na Construção, Sebenta das aulas teóricas, ISEP;

PMBOK® Guide 6th Edition; A Guide to the Project Management Body of Knowledge - revisão 2017, PMI;

PMBOK®; Construction Extension to the PMBOK® - 2016, PMI;

PMI (2019) – The standard for Earned Value Management;

Proaño-Narváez, Flores-Vázquez, Vásquez Quiroz & Avila-Calle (2022) - Earned Value Method (EVM) for Construction Projects: Current Application and Future Projections;

Rodrigues A. (2012) - Controle Eficaz de Projetos com base no método da Gestão por Valor Agregado - Earned Value Management;

Rue L. & Byars L. (1997) – Management: Skills and Application;

Savkint O. & Danielsson A. (2021) – Extensions of Earned Value Management. A Systematic Review

Seabra R. (2014) – O método de Lançamento Incremental. Conceitos Base e uma Aplicação Prática.

Seymor T. & Hussein S. (2014) – The History of Project Management;

Silva, C (2014) – Aplicação Prática dos Pilares da gestão numa fundação: Melhoria de Processos e Procedimentos;

Song L. (2010) – Earned Value Management: A Global and Cross-Industry Perspective on Current EVM Practice;

Stretton A (2007) - A Short History of Modern Project Management;

Sunarti N., Mastan Z. & Cin L. (2018) - The Application and Challenges of Earned Value Management (EVM) As Cost Monitoring Tool in the Construction Industry;

Wilson J. (2003) – Gantt Charts: A Centenary Appreciation;