

# Planeamento da Construção Repetitiva e Não Repetitiva – Caso de Estudo Comparativo

António Miguel Caetano Teixeira

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DA  
CONSTRUÇÃO**

Orientador: Doutor Jorge José de Magalhães Mendes

Julho 2013



## Agradecimentos

A todos aqueles, que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, expresso aqui o meu reconhecimento.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio, carinho e espírito de sacrifício, sem os quais dificilmente teria chegado até aqui. À minha namorada, pela paciência, colaboração e compreensão sempre demonstrada.

Apresento o meu sincero agradecimento ao Doutor Jorge José de Magalhães Mendes, pela disponibilidade, pelas sugestões, pelos ensinamentos e pela simpatia demonstrada durante todo o acompanhamento da realização da dissertação. À Sra. Engenheira Maria da Fátima Portela, o meu obrigado pelos seus conhecimentos e pela sua disponibilidade.

Pela colaboração recebida, pelo apoio e pela simpatia com que me receberam, quero agradecer a TimeLink, em especial ao Sr. Engenheiro Lídio Currel, e a todas as empresas que me ajudaram a conhecer os meios e técnicas de planeamento da construção.

A todos os meus amigos que me auxiliaram na realização da dissertação, através do seu apoio e amizade. Em especial ao António Luciano, ao Dário Fábio, à Susana Ferraz e ao meu primo Frederico um reconhecido obrigado.



## Resumo

O planeamento da construção tem sido considerado como uma mera burocracia e utilizado essencialmente como uma orientação temporal do desenvolvimento da obra, que se reflete, frequentes vezes, na utilização inadequada das técnicas de planeamento.

Com esta dissertação pretende-se oferecer uma nova perspectiva sobre as técnicas e softwares de planeamento e a sua melhor utilização. Contudo, focalizando-se mais nos métodos CPM e LOB, efetua-se o seu planeamento nos softwares Microsoft Project e CCS-Candy respetivamente.

Inicia-se este trabalho com uma breve descrição acerca do estado da arte das metodologias e softwares de planeamento da construção. Seguidamente efetua-se a demonstração do planeamento de dois casos de estudo, sendo o primeiro caso de estudo referente ao planeamento da construção de uma ponte com recurso ao Microsoft Project. Realiza-se o cálculo dos rendimentos, dimensionamentos das equipas de trabalho e análise dos diagramas de planeamento fornecido pelo Microsoft Project.

No segundo caso de estudo, demonstra-se o planeamento da estrutura de dois edifícios no software CCS - Candy. Efetua-se igualmente o cálculo dos rendimentos, dimensionamento das equipas de trabalho e análise, essencialmente, do Gráfico Espaço/Tempo (LOB).

Após a realização do planeamento dos dois casos de estudo, realiza-se uma pequena comparação das duas metodologias, CPM e LOB, referenciando as vantagens e desvantagens da sua utilização no planeamento de obras, seguido de uma breve conclusão.

Termina-se esta dissertação com a apresentação das conclusões gerais e das propostas para trabalhos futuros.

*Palavras-Chave:* Metodologias de Planeamento, Softwares de Planeamento, CPM (Método do Caminho Crítico), LOB (Linha de Balanço), Microsoft Project, CCS – Candy.



**Abstract**

The construction planning has been regarded as a mere bureaucracy and used essentially as a temporal orientation of the development of the work, which reflects frequent times, in inappropriate use of planning techniques.

This work is intended to offer a new perspective on the techniques and software planning and its best use. However, it is focused more on methods CPM and LOB, is effected its planning in the software Microsoft Project and CCS - Candy respectively.

This work begins with a brief description about the state of the art of the methodologies and planned construction software. Then is performed the demonstration of the planning of two case studies, being the first case study for the planned construction of a bridge using Microsoft Project. Is carried out the calculation of income, sizing of work teams and analysis of planning diagrams provided by Microsoft Project.

The second case study demonstrates the planning of the structure of two buildings in the software CCS - Candy. It is also performed the calculation of income, size of the teams and analysis, essentially the Chart Space / Time (LOB).

After the completion of the planning of the two case studies, is carried out a small comparison of the two methodologies, CPM and LOB, referring the advantages and disadvantages of its use in the planning of works, followed by a brief conclusion.

This work is ended with the presentation of the general conclusions and proposals for a future work.

*Keywords:* Planning Methodologies, Software Planning, CPM (*Critical Path Method*), LOB (*Line-of-Balance*), Microsoft Project, CCS – Candy.



---

**Índice Geral**

<b>Agradecimentos</b> .....	iii
<b>Resumo</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>Símbolos e Abreviaturas</b> .....	xix
<b>1. Introdução</b> .....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objectivos .....	2
1.3 Metodologia e Estrutura .....	2
<b>2. Técnicas de Planeamento</b> .....	5
2.1 Introdução .....	5
2.2 Técnicas de Diagramas de Rede.....	5
2.2.1 Rede AOA .....	5
2.2.2 Rede AON .....	6
2.3 Técnicas de Planeamento.....	7
2.3.1 Gráfico de Gantt .....	7
2.3.2 CPM.....	9
2.3.3 PERT .....	13
2.3.4 PDM.....	17
2.3.5 LOB.....	22
<b>3. Softwares para Planeamento da Construção</b> .....	33
3.1 Introdução.....	33
3.2 Softwares Disponível no Mercado .....	33
3.2.1 m4Pro ERP .....	33
3.2.2 Primavera Contractor/P3 .....	34
3.2.3 SmartDraw .....	36
3.2.4 GanttProject .....	36

3.2.5	xTime Project.....	37
3.2.6	Arquimedes.....	38
3.2.7	Previso.....	38
3.2.8	Compor 90.....	39
3.2.9	Sienge .....	40
3.2.10	Vico Control .....	41
3.2.11	BIM .....	42
3.2.12	Projeto Ap4 .....	43
3.2.13	X-Pert.....	44
3.3	Microsoft Project.....	45
3.4	CCS - Candy .....	47
<b>4.</b>	<b>Caso de Estudo 1- Construção de uma Ponte .....</b>	<b>51</b>
4.1	Descrição da Obra.....	51
4.1.1	Atividades da Obra .....	52
4.1.2	Rendimento de Mão-de-Obra e Equipamento .....	55
4.2	Planeamento da Obra utilizando Microsoft Project.....	82
4.3	Conclusões.....	88
<b>5.</b>	<b>Caso de Estudo 2- Construção da Estrutura de dois Edifícios .....</b>	<b>89</b>
5.1	Descrição da Obra.....	89
5.1.1	Atividades da Obra .....	90
5.1.2	Rendimento de Mão-de-Obra e Equipamento .....	93
5.2	Planeamento da Obra utilizando CCS - Candy .....	110
5.3	Conclusões.....	117
<b>6.</b>	<b>Análise e Discussão dos Resultados .....</b>	<b>119</b>
6.1	Comparação dos métodos CPM e LOB .....	119
6.2	Vantagens e desvantagens da utilização CPM vs. LoB .....	120
6.3	Conclusões.....	121
<b>7.</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>123</b>

7.1	Conclusões Gerais .....	123
7.2	Trabalhos Futuros .....	124
	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	125
	<b>Bibliografia</b> .....	131
	<b>Anexos</b> .....	133



**Índice de Figuras**

Figura 2.1- Exemplo de rede de projeto AOA .....	6
Figura 2.2- Exemplo de rede de projeto AON .....	7
Figura 2.3- Gráfico de Gantt .....	8
Figura 2.4- Representação de um exemplo de Rede AON para aplicação do CPM .....	9
Figura 2.5- Representação dos resultados na Rede AON .....	10
Figura 2.6- Representação final do CPM na Rede AON .....	12
Figura 2.7- Representação do CPM numa Rede de projeto AOA .....	13
Figura 2.8- Exemplo da possível configuração da Distribuição de Probabilidade $\beta$ .....	14
Figura 2.9- Exemplo de uma rede de projeto AOA para aplicação do método PERT .....	15
Figura 2.10- Representação do Método PERT na rede AOA .....	16
Figura 2.11- Tabela da Distribuição da Lei Normal Reduzida .....	17
Figura 2.12- Representação FS numa rede AON .....	18
Figura 2.13- Representação SS numa rede AON .....	18
Figura 2.14- Representação FF numa rede AON .....	19
Figura 2.15- Representação SF numa rede AON .....	19
Figura 2.16- Exemplo para aplicação da metodologia PDM .....	19
Figura 2.17- Representação dos resultados finais na Rede AON do PDM .....	22
Figura 2.18- Evolução dos métodos a partir do conceito de Linha de Equilíbrio .....	23
Figura 2.19- Representação da LOB sob a forma de linha .....	23
Figura 2.20- Representação da LOB sob a forma de barra .....	24
Figura 2.21- Variáveis globais do projeto na LOB .....	25
Figura 2.22- Representação de um exemplo de projeto na metodologia LOB .....	25
Figura 2.23- Exemplo de correção através do atraso da execução da atividade F .....	26
Figura 2.24- Exemplo de correção através da alteração do ritmo de produção da atividade F .....	26
Figura 2.25- Exemplo de correção através do atraso com interrupções da atividade F .....	27
Figura 2.26- Representação de um exemplo para o de cálculo do ritmo de produção .....	28

Figura 2.27- Exemplo de obtenção do caminho crítico na programação paralela LOB.....	29
Figura 2.28- Exemplo de obtenção do caminho crítico na programação não paralela LOB .....	30
Figura 2.29- Exemplo da distribuição de recursos na LOB .....	30
Figura 3.1- Página de cálculo do software Primavera Contractor.....	35
Figura 3.2- Página de cálculo do software Primavera Project Planner .....	35
Figura 3.3- Página de cálculo do software SmartDraw .....	36
Figura 3.4- Página de cálculo do software Gantt Project.....	37
Figura 3.5- Página de cálculo do software xTime Project .....	37
Figura 3.6- Página de cálculo do software Arquimedes .....	38
Figura 3.7- Página de cálculo do software Previso .....	39
Figura 3.8- Página de cálculo do software Compor 90 .....	40
Figura 3.9- Representação Flowline do software Vico Control.....	41
Figura 3.10- Esquema do conceito BIM.....	43
Figura 3.11- Página de cálculo do software Ap4 .....	44
Figura 3.12- Página de cálculo do software X-Pert .....	45
Figura 3.13- Página de cálculo do software Project .....	47
Figura 3.14- Vista dos principais elementos do ambiente de trabalho do Candy.....	48
Figura 3.15- Representação esquemática do Sistema Candy .....	49
Figura 4.1- Alçado da Ponte.....	51
Figura 4.2- Escavadora Cat 330 LN .....	59
Figura 4.3- Tabelas dos Factores de uma Escavadora.....	60
Figura 4.4- Escavação com Recurso a Explosivos .....	62
Figura 4.5- Tabela para Escavação com Recurso a Explosivos .....	63
Figura 4.6- Camião Mercedes 2635 (13 m <sup>3</sup> ).....	63
Figura 4.7- Tabela para Transporte .....	64
Figura 4.8- Execução de Cofragens.....	66
Figura 4.9- Tabela para Cofragens Tradicionais .....	67
Figura 4.10- Execução das Armaduras .....	67

---

Figura 4.11- Tabela para Armaduras .....	68
Figura 4.12- Auto-Grua .....	69
Figura 4.13- Tabela para utilização de Gruas .....	70
Figura 4.14- Execução, Colocação, Espalhamento e Compactação do Betão .....	71
Figura 4.15- Tabela para Execução de Betão .....	71
Figura 4.16- Tabela para Colocação do Betão no Local.....	72
Figura 4.17- Tabela para Aplicação do Betão .....	72
Figura 4.18- Espalhadora VÖGELE SUPER 1400.....	77
Figura 4.19- Cilindro de Rolos Dynapac CC 21 e Cilindro de Pneus Dynapac CP 271.....	78
Figura 4.20- Gráfico de Rendimento do Cilindro de Rolos Dynapac CC 21 .....	78
Figura 4.21- Gráfico de Rendimento do Cilindro de Pneus Dynapac CP 271.....	79
Figura 4.22- Atribuição do Nome do Projeto .....	82
Figura 4.23- Definição da Data de Início do Projeto no Project .....	83
Figura 4.24- Definição do Calendário de Trabalho no Project .....	84
Figura 4.25- Descrição das Atividades, Durações, Precedências e Recursos no Project .....	84
Figura 4.26- Definição das características dos Recursos no Project .....	85
Figura 4.27- Definição das Quantidades, Unidades e Rendimentos Diários no Project .....	86
Figura 4.28- Formatação das Colunas no Project .....	86
Figura 4.29- Representação de parte do Diagrama de Rede do Projeto em Estudo .....	87
Figura 4.30- Representação do Caminho Crítico no Gráfico de Gantt do Projeto em Estudo .....	87
Figura 5.1- Empreendimento Dehaus Garten Residenz.....	89
Figura 5.2- Tipologia dos Edifícios Este e Oeste .....	90
Figura 5.3- Tabela para Cofragens Tradicionais .....	100
Figura 5.4- Tabela de Armadura para Betão .....	101
Figura 5.5- Tabela para utilização de Gruas .....	103
Figura 5.6- Tabela para Colocação do Betão no Local.....	104
Figura 5.7- Tabela para Aplicação do Betão .....	104
Figura 5.8- Tabela para Cofragens Tradicionais .....	106

Figura 5.9- Tabela de Armadura para Betão .....	107
Figura 5.10- Tabela para Colocação do Betão no Local .....	108
Figura 5.11- Tabela para Aplicação do Betão .....	109
Figura 5.12- Gestor de Empresas no CCS – Candy.....	110
Figura 5.13- Gestor de Trabalhos no CCS – Candy.....	111
Figura 5.14- Gestor de Programa de Trabalhos no CCS – Candy .....	111
Figura 5.15- Calendário no CCS – Candy .....	112
Figura 5.16- Iniciar Planeamento utilizando Gráfico de Barras com Sucessoras .....	112
Figura 5.17- Gráfico de Barras com Sucessoras.....	113
Figura 5.18- Definição dos Recursos do Planeamento .....	113
Figura 5.19- Lista de Atividades com Produção.....	114
Figura 5.20- Gestor de Relatórios do CCS - Candy .....	115
Figura 5.21- Gráfico de Gantt do Project no CCS - Candy .....	115
Figura 5.22- Excerto da Rede de Precedências e do Gráfico Espaço/Tempo do Projeto .....	116

---

**Índice de Tabelas**

Tabela 4.1- Equipa de Trabalho de Montagem do Estaleiro/Desmontagem do Estaleiro .....	56
Tabela 4.2- Equipa de Trabalho para Manutenção do Estaleiro.....	57
Tabela 4.3- Equipa de Implementação do Plano de Segurança.....	57
Tabela 4.4- Equipa de Acompanhamento Ambiental.....	57
Tabela 4.5- Equipa de Sinalização Temporária e Desvios de Trânsito.....	58
Tabela 4.6- Equipa de Execução de ensecadeiras e realização de acessos .....	58
Tabela 4.7- Equipa de Escavações com e sem Explosivos e Transporte para Vazadouro .....	58
Tabela 4.8- Equipa de Aterro junto à Estrutura.....	64
Tabela 4.9- Equipa de Execução de Fundações em Betão Armado.....	65
Tabela 4.10- Equipa de Execução de Pilares e Aparelhos de Apoio.....	73
Tabela 4.11- Equipa de Execução do Tabuleiro em Betão Armado e Pré-Esforçado.....	74
Tabela 4.12- Equipa de Acabamentos .....	75
Tabela 4.13- Equipa de Pavimentação (Camadas Betuminosas) .....	76
Tabela 4.14- Equipa de Regas Betuminosas .....	80
Tabela 4.15- Equipa de Sinalização Horizontal .....	81
Tabela 5.1- Equipa de Montagem, Exploração e Desmontagem do Estaleiro de Obra .....	93
Tabela 5.2- Equipa de Movimento de Terras .....	94
Tabela 5.3- Equipa de Betão Armado em Fundações .....	95
Tabela 5.4- Equipa de Betão Armado em Estruturas (Trabalhos de Geotecnia).....	97
Tabela 5.5- Equipa de Betão Armado em Estruturas .....	98



**Símbolos e Abreviaturas**

AOA – Atividades nas Setas (*Activity-on-Arrow*)

“ $\beta$ ” - Representa as Atividades

“ $d\beta$ ” - Durações das Atividades

AON – Atividades nos Nós (*Activity-on-Node*)

*ES* - Início mais Cedo da Atividade (*Early Start*)

*EF* - Fim mais Cedo da Atividade (*Early Finish*)

*LS* - Início mais Tarde da Atividade (*Late Start*)

*LF* - Fim mais Tarde da Atividade (*Late Finish*)

*CPM* - Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method*)

*PERT* - *Program Evaluation and Review Technique*

(a) - Duração Optimista

(b) – Duração Pessimista

(m) - Duração mais Provável

*Te* - Tempo esperado

$\sigma^2$  – Variância

*PDM* - Método de Diagramação de Precedências (*Precedence Diagramming Method*)

*FS* - Concluir para Iniciar (*Finish to Start*)

*SS* - Iniciar para Iniciar (*Start to Start*)

*FF* - Concluir para Concluir (*Finish to Finish*)

*SF* - Iniciar para Concluir (*Start to Finish*)

*LOB* - Metodologia da Linha de Balanço (*Line-of-Balance*)

*CCS* - Construction Computer Software

Project - Microsoft Project



## 1. Introdução

### 1.1 Considerações Iniciais

As obras de arte são infraestruturas com grande impacto no desenvolvimento económico e social das populações. Por sua vez, os edifícios tem vindo a representar no sector da construção uma importante fonte de trabalho e de criação de riqueza.

A construção civil, sendo um sector em constante competitividade, é necessário que as empresas inovem simultaneamente com ganhos na qualidade, reduções de custos e maior flexibilidade.

Diante deste panorama, é essencial dispor de ferramentas que permitam um planeamento bem executado e controlado.

Uma das ferramentas, em progressiva utilização na construção, são os softwares de gestão de projetos, que vieram agilizar esses processos.

No planeamento dos trabalhos de uma obra de arte e de um edifício, o cálculo dos rendimentos da mão-de-obra e de equipamentos é um elemento fundamental, não só por significar o cumprimento dos prazos, como também pelo custo dos equipamentos representar parte relevante do custo da obra.

Os métodos de planeamento mais utilizados, pelas empresas em Portugal, são o Gantt, o PERT e o CPM. Sendo do desconhecimento de muitas delas a técnica LOB, muito utilizada noutros países em obras com atividades muito repetitivas.

Nesta dissertação far-se-á o planeamento de duas obras, sendo o primeiro de uma Ponte com recurso ao Microsoft Project, e o segundo de dois Edifícios com recurso ao CCS - Candy.

## 1.2 Objectivos

Estabelece-se, como principais objectivos desta dissertação, o planeamento de uma Ponte utilizando o Microsoft Project, e o planeamento de dois Edifícios com produção repetitiva utilizando o CCS - Candy.

Para a realização destes objectivos serão utilizados dois casos de estudo.

Esta dissertação tem como objectivos secundários:

- Estudo da arte dos métodos e softwares de planeamento;
- Dimensionamento de equipas para a execução de actividades;
- Determinação de rendimentos;
- Aplicação dos Gráficos de Gantt e Espaço/Tempo (LOB).

Neste trabalho far-se-á o planeamento de tempos para ambos os casos de estudo, não sendo objectivo de estudo os custos associados.

## 1.3 Metodologia e Estrutura

A presente dissertação baseia-se em dois casos de estudo, pesquisa bibliográfica e consulta de empresas.

No que diz respeito a pesquisa bibliográfica, foi fundamentalmente para a execução do estado da arte dos métodos e softwares de planeamento mais utilizados no sector da construção civil.

O cálculo dos rendimentos da mão-de-obra e de equipamentos foram efectuados com a consulta de empresas, com recurso as Tabelas de Paz Branco [1], a Sebenta do IST [2] e a diversos Catálogos de Equipamentos.

O primeiro caso de estudo, foi baseado num planeamento de beneficiação e alargamento de duas pontes incluindo a realização de uma nova ponte na EN 210. Sendo necessário definir as actividades, bem como as suas quantidades e precedências apenas da execução de nova

Ponte, sendo, seguidamente, realizado o seu planeamento no Microsoft Project e analisados os resultados obtidos.

O segundo caso de estudo, teve como base um planeamento de construção e reabilitação de Edifícios. Foi necessário definir apenas as atividades, quantidades e precedências relacionadas com a realização da Super Estrutura dos Edifícios. Efetuado de seguida o seu planeamento no CCS - Candy e debatidos os resultados conseguidos.

Em termos de organização a dissertação foi organizada em seis capítulos, para além do presente. Neste capítulo são feitas as considerações iniciais, apresentados os objectivos bem como a metodologia e estrutura.

O segundo e terceiro capítulo apresentam e caracterizam, de um modo geral as várias técnicas e softwares de planeamento existentes na construção respetivamente.

O quarto capítulo apresenta um caso de estudo, sobre o planeamento da realização de uma Ponte com recurso ao Microsoft Project, onde é efectuado a descrição da obra, a determinação dos rendimentos e das equipas de trabalho de cada atividade. Sendo também feito uma pequena demonstração de como planear no Microsoft Project, seguido de uma conclusão do capítulo.

O capítulo quinto, apresenta um segundo caso de estudo, sobre o planeamento da execução da Estrutura de dois Edifícios com recurso ao CCS - Candy, onde é efectuado a descrição da obra, a determinação dos rendimentos e das equipas de trabalho de cada atividade. Sendo também feito neste capítulo, uma pequena demonstração de como planear no CCS - Candy, seguido de uma conclusão do capítulo.

O sexto capítulo consiste na análise e discussão dos resultados, para as técnicas de planeamento CPM e LOB.

Para terminar, o sétimo capítulo apresenta as principais conclusões sobre as disposições apresentadas ao longo desta dissertação e anuncia-se possíveis sugestões para trabalhos futuros.

---

## 2. Técnicas de Planeamento

### 2.1 Introdução

O mapa de Gantt e a rede do projeto são representações que descrevem graficamente o problema do planeamento de projetos. [3]

### 2.2 Técnicas de Diagramas de Rede

Um diagrama de rede (network) é um diagrama gráfico da ordem ou sequência dos eventos de um projeto.

Uma rede é constituída por um conjunto de nós e por um conjunto de arcos (ou setas), nos quais se identificam as atividades e as suas interligações, decorrendo o tempo da esquerda para a direita. [3 e 4]

Seguidamente descrevem-se os dois modelos de representação de uma rede de projeto.

#### 2.2.1 Rede AOA

A rede AOA (*Activity-on-Arrow*) foi a primeira rede de programação de projeto a ser utilizada para aplicação das metodologias CPM e PERT. [5]

No desenvolvimento da rede AOA as setas representam as atividades e os nós representam o início e o fim das atividades.

A Figura 2.1 demonstra um exemplo de uma rede de projeto AOA. As atividades são representadas por “ $\beta$ ”, as durações das atividades “ $\beta$ ” por “ $d\beta$ ” e o início e o fim das atividades pelos nós “ $i$ ” e “ $j$ ” respectivamente, daí também ser denominada de Método  $i$ - $j$ .

A numeração dos nós indica a sequência das atividades. (adaptado de [3])

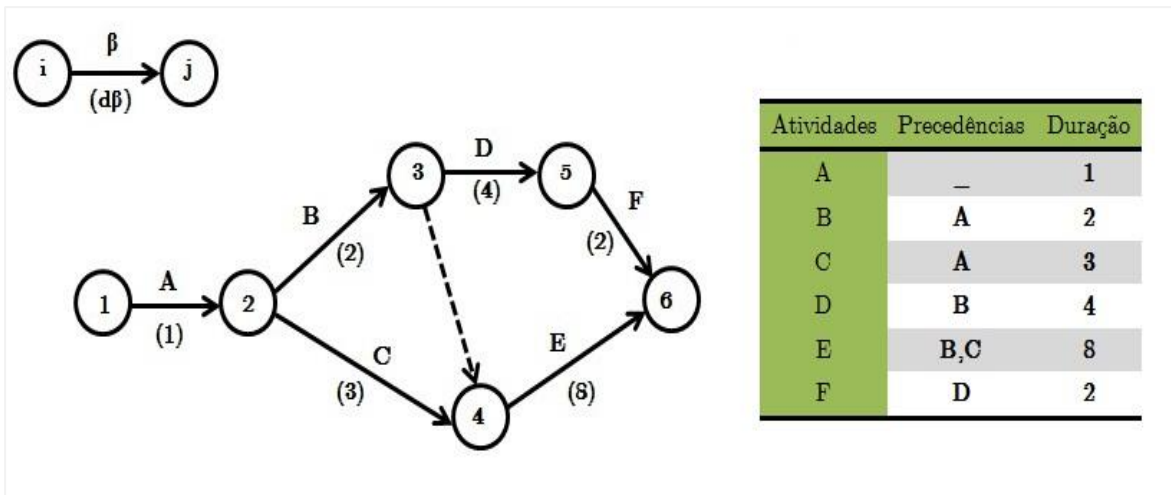


Figura 2.1- Exemplo de rede de projeto AOA

Ao analisar o exemplo anterior questionamos duas situações, nomeadamente a existência de uma atividade representada a tracejado sem referência nem duração, e o facto do comprimento das setas que representam as atividades não estar relacionado com as durações das mesmas.

A primeira situação trata-se de uma atividade fictícia, não consome tempo nem recursos, resulta apenas da necessidade de representar as interdependências entre atividades. [6]

No que diz respeito à segunda situação, é importante salientar que a única convenção existente é de que a seta representa cada atividade e indica o sentido em que o tempo flui, não existindo qualquer necessidade de relação entre a duração da atividade e o comprimento da seta que a representa. [6]

### 2.2.2 Rede AON

O diagrama AON (*Activity-on-Node*) tem vindo a ser cada vez mais aplicado nos produtos de software de planeamento de projetos da indústria da construção. [6]

Na representação AON as atividades são representadas nos nós enquanto cada seta (ou arco) representa uma relação de precedências entre atividades. Utiliza também uma

atividade inicial e final fictícia, com duração e utilização de recursos nula, como representação do início e fim do projeto. [3]

A Figura 2.2 demonstra um exemplo de rede AON, sendo as atividades representadas por “ $\beta$ ”, as durações destas por “ $d\beta$ ”.

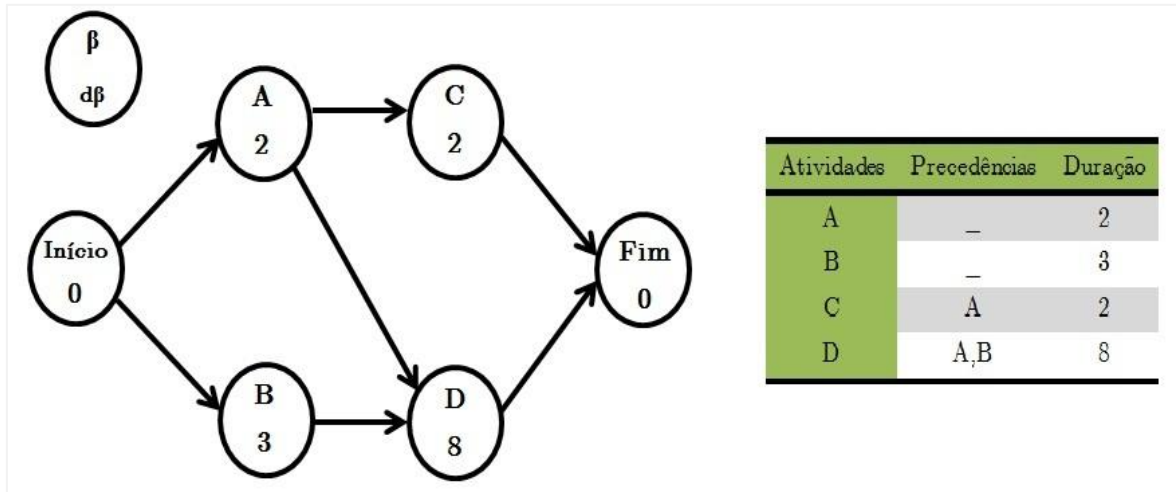


Figura 2.2- Exemplo de rede de projeto AON

### 2.3 Técnicas de Planeamento

O planeamento de um projeto tem como objetivo a obtenção de um programa, cuja base de sucesso está na capacidade de coordenar ações que relacionam tempo, custo e qualidade. É nessa base que se desenvolveram as metodologias de planeamento que se descrevem de seguida. [4 e 6]

#### 2.3.1 Gráfico de Gantt

O gráfico de Gantt (ou Mapa de Gantt) foi desenvolvido em 1917 pelo engenheiro norte-americano Henry Gantt, tendo sido utilizado durante a primeira guerra mundial na área militar. Em 1970 Belchior afirma que a grande contribuição do gráfico de Gantt para as tomadas de decisão foi a de relacionar os factos com o tempo. [3]

Como o seu próprio nome indica, o gráfico de Gantt, consiste num gráfico no qual o eixo dos x representa o tempo e o eixo dos y representa os recursos. Cada retângulo representa

uma atividade, no qual a sua largura corresponde à duração da mesma e a sua altura corresponde ao número utilizado, por unidade de tempo, de recursos onde se encontra colocado. [3]

A Figura 2.3 apresenta um exemplo de um gráfico de Gantt no qual existem 6 atividades (1,2,3,4,5,6) e dois recursos (R1, R2), cujas capacidades são respetivamente 4 e 2. É fácil verificar que a atividade 3 tem início no instante 4 e termina no instante 10 e que gasta ao longo desse período duas unidades de R1 e uma de R2. De igual modo, pode-se verificar que atividade 5 tem início no instante 10 e termina no instante 11 e que ao longo da sua duração gasta três unidades de R1. [3]

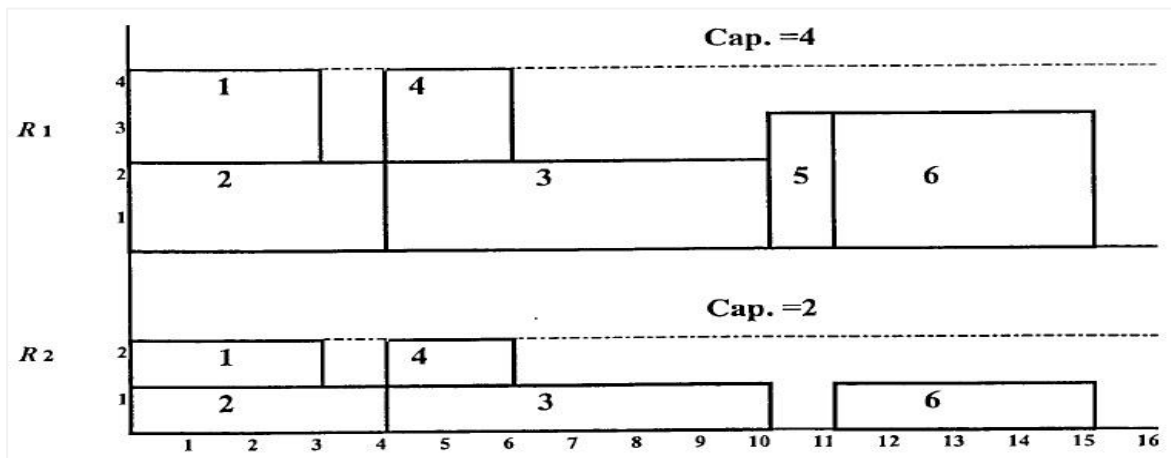


Figura 2.3- Gráfico de Gantt [3]

As vantagens do gráfico Gantt são: [3]

- A representação gráfica de todas as atividades num diagrama de fácil interpretação;
- Permite verificar o progresso das atividades a qualquer instante;
- Permite identificar as atividades com os recursos;
- Indica a disponibilidade dos recursos e sua utilização;

Uma das desvantagens do gráfico de Gantt é não permitir a visualização das dependências entre as atividades. Apesar das suas desvantagens ainda continua a ser muito utilizado na

indústria da construção, devido à facilidade de interpretação e ao impacto causado pelo visionamento global de um projeto, servindo de meio de comunicação entre o projeto e os elementos exteriores a administração da empresa.

### 2.3.2 CPM

O Método do Caminho Crítico (*CPM- Critical Path Method*) é uma das metodologias mais divulgadas, devido a sua credibilidade e facilidade de aplicação e apreensão. Foi criado em 1957, pela CIA. EU. du Pont, assessorada pela Remington Rand Division da Sperry Rand Corporation, com o objetivo de melhorar a programação de projetos ligados às fábricas de produtos químicos. [3]

O CPM é usado com o objetivo de minimizar a duração da realização do projeto, através do planeamento das durações das atividades, permitindo consequentemente um melhor planeamento dos recursos e dos custos. [6]

Pode ser representado numa rede AON como numa rede AOA, existindo para cada uma das opções de representação convenções gráficas adequadas. [7]

Para uma melhor compreensão do método, representa-se, de seguida na Figura 2.4 um exemplo de rede de projeto AON para aplicação da metodologia.

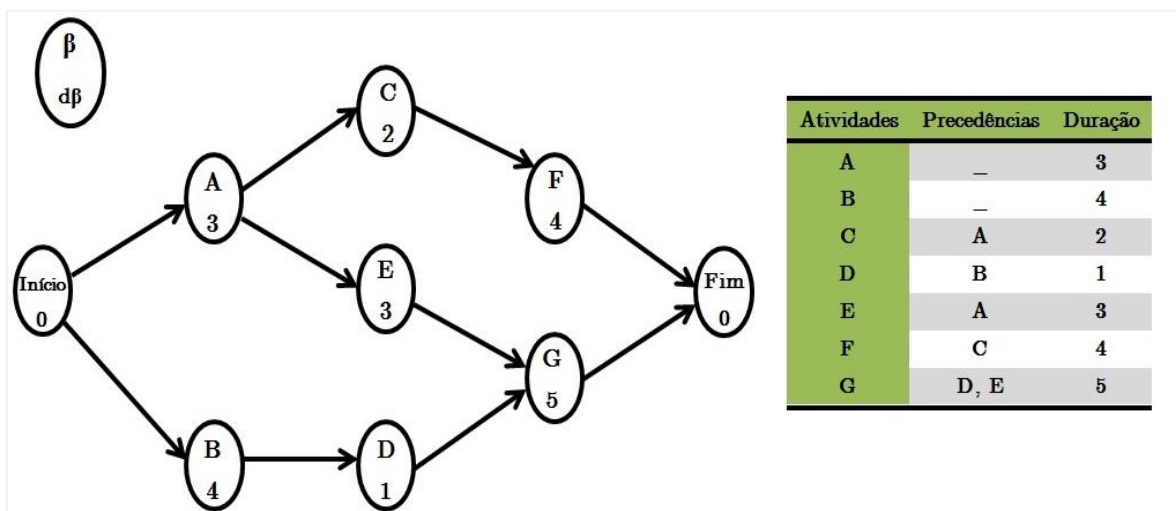


Figura 2.4- Representação de um exemplo de Rede AON para aplicação do CPM

Construída a rede de projeto AON, efetua-se o cálculo do *ES* (*Early Start*- Início mais Cedo da atividade) e do *EF* (*Early Finish*- Fim mais Cedo da atividade) de cada atividade.

O cálculo do *ES* e *EF* é efectuado do início para o fim da rede, considerando *ES* do nó “Início” igual a zero e “*d<sub>β</sub>*” como a duração da atividade “*β*”, através das expressões: [5]

$$ES_{\text{Início}} = 0 \quad (2.1)$$

$$ES_{\beta} = ES_{\text{Atividade Precedente}} + d_{\text{Atividade Precedente}} \quad (2.2)$$

$$EF_{\beta} = ES_{\beta} + d_{\beta} \quad (2.3)$$

Demonstra-se para as atividades “A” e “C”:

$$ES_{\text{A}} = ES_{\text{Início}} + d_{\text{Início}} = 0 + 0 = 0$$

$$EF_{\text{A}} = ES_{\text{A}} + d_{\text{A}} = 0 + 3 = 3$$

$$ES_{\text{C}} = ES_{\text{A}} + d_{\text{A}} = 0 + 3 = 3$$

$$EF_{\text{C}} = ES_{\text{C}} + d_{\text{C}} = 3 + 2 = 5$$

Na atividade “G”, que tem duas atividades precedentes, a metodologia expressa que nessas situações deve ser adotado o maior valor de *ES* obtido. [5]

$$ES_{\text{G}} = \max. \left[ \begin{matrix} EF_{\text{E}} \\ EF_{\text{D}} \end{matrix} \right] = \max. \left[ \begin{matrix} 6 \\ 5 \end{matrix} \right] = 6 \quad (2.4)$$

Representa-se os valores obtidos na rede AON, como demonstra a Figura 2.5.

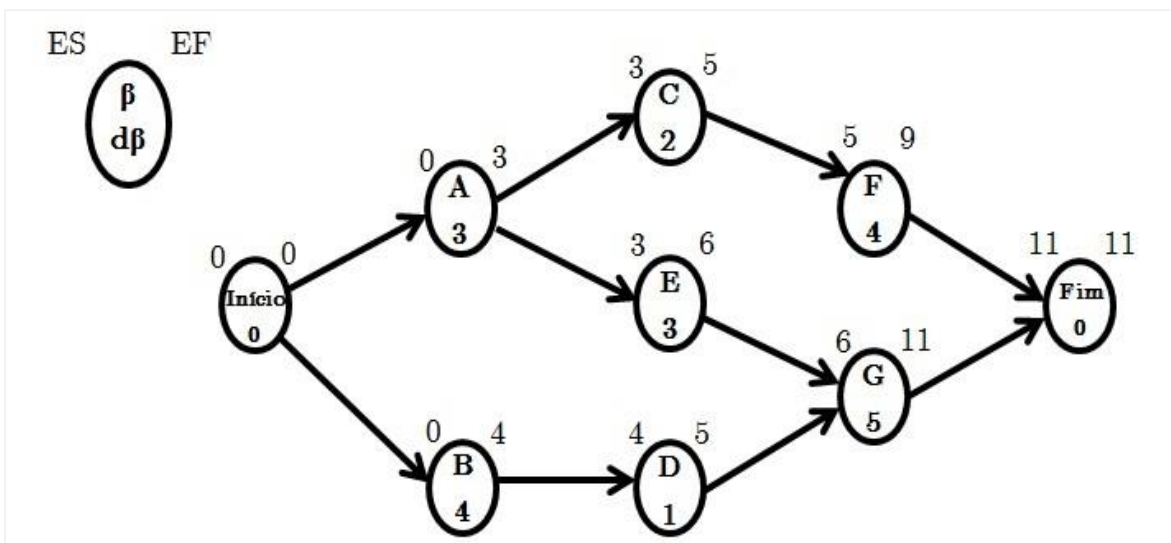


Figura 2.5- Representação dos resultados na Rede AON

Seguidamente efetua-se o cálculo do *LS* (*Late Start*- Início mais Tarde da atividade), do *LF* (*Late Finish*- Fim mais Tarde da atividade) e da *Float* (Folga- Tempo que atividade pode ser atrasada sem afetar o tempo total do projeto).

O cálculo do *LS*, do *LF* e do *Float* é efectuado do fim para o início da rede, considerando *LF* do nó "Fim" igual ao *EF* do mesmo e "*d<sub>β</sub>*" como a duração da atividade "*β*", através das expressões: [5]

$$LF_{\text{Fim}} = EF_{\text{Fim}} \quad (2.5)$$

$$LS_{\beta} = LF_{\beta} - d_{\beta} \quad (2.6)$$

$$LF_{\beta} = LS_{\text{Atividade Sucessora}} \quad (2.7)$$

$$Float_{\beta} = LF_{\beta} - EF_{\beta} \quad (2.8)$$

Demonstra-se para as atividades "G" e "D":

$$LF_{\text{Fim}} = EF_{\text{Fim}} = 11$$

$$LF_{\text{G}} = LS_{\text{Fim}} = 11$$

$$LS_{\text{G}} = LF_{\text{G}} - d_{\text{G}} = 11 - 5 = 6$$

$$Float_{\text{G}} = LF_{\text{G}} - EF_{\text{G}} = 11 - 11 = 0$$

$$LF_{\text{D}} = LS_{\text{G}} = 6$$

$$LS_{\text{D}} = LF_{\text{D}} - d_{\text{D}} = 6 - 1 = 5$$

$$Float_{\text{D}} = LF_{\text{D}} - EF_{\text{D}} = 6 - 5 = 1$$

Na atividade "A", que tem duas atividades sucessoras, a metodologia expressa que nessas situações deve ser adotado o menor valor de *LF* obtido. [5]

$$LF_{\text{A}} = \min. \begin{bmatrix} LS_{\text{C}} \\ LS_{\text{E}} \end{bmatrix} = \min. \begin{bmatrix} 5 \\ 3 \end{bmatrix} = 3 \quad (2.9)$$

As atividades com folga (*Float*) igual a zero são designadas de atividades críticas, pois qualquer alteração na sua duração tem consequências imediatas na duração do projeto, conseqüentemente são atividades que necessitam de um rigoroso controlo durante a sua realização.

É através das atividades críticas que se define o caminho crítico, como representado na Figura 2.6. [6]

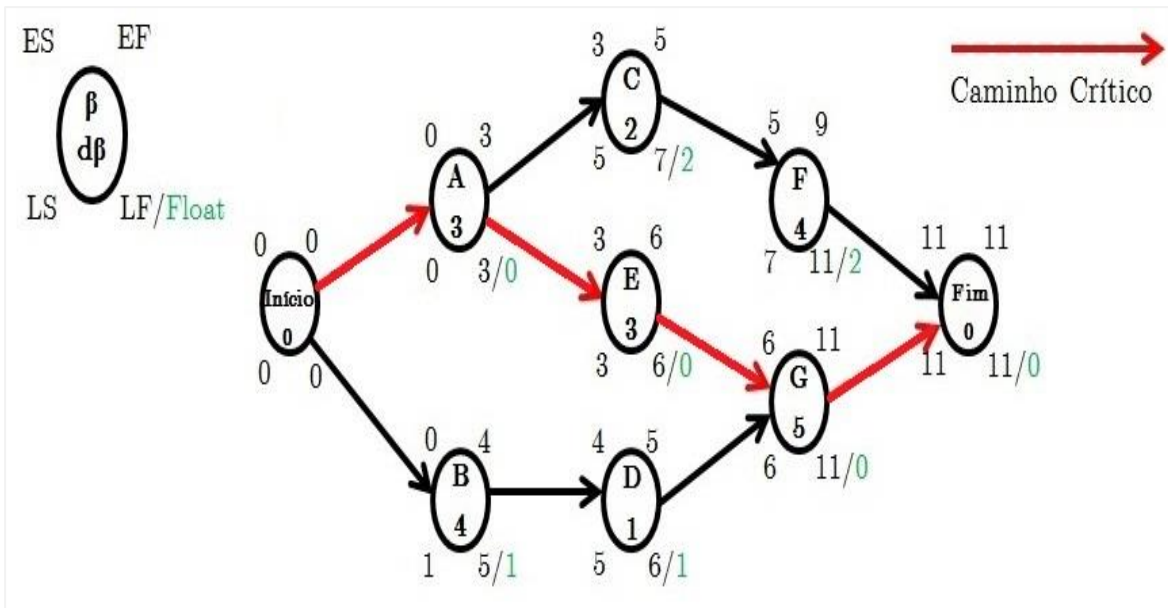


Figura 2.6- Representação final do CPM na Rede AON

Efectuado os cálculos e respectivamente representados na rede de projeto, estão reunidas as condições para análise das vantagens do Método CPM.

O CPM não permite só análise das atividades críticas, também possibilita análise das atividades não críticas, permitindo determinar o tempo que pode ser atrasado o seu início (*FLD*) sem afectar o início das suas atividades sucessoras, ou o tempo que pode ser antecipada a sua conclusão (*FLE*) em relação à data mais tardia sem afectar a conclusão das atividades precedentes. [6]

$$FLD_{\beta} = EF_{\beta} - ES_{\beta} - "d_{\beta}" \quad (2.10)$$

$$FLE_{\beta} = LF_{\beta} - LS_{\beta} - "d_{\beta}" \quad (2.11)$$

Permite analisar ainda o grau de liberdade relativo a uma atividade que não condiciona as datas de conclusão das precedentes nem as datas de início das sucessoras. Dessa análise surge a Folga Independente (*FI*), que é determinada tendo em conta que as atividades precedentes terminam no tempo mais tarde e que as atividades sucessoras se iniciam no tempo mais cedo.

$$FI_{\beta} = EF_{\beta} - LS_{\beta} - "d_{\beta}" \quad (2.12)$$

Tendo em consideração que esta expressão pode originar valores negativos, tornando impossível cumprir as condições expressas na sua definição. [6]

A aplicação do CPM numa rede de projeto AOA é muito idêntica ao procedimento referido para a rede AON, modificando apenas na sua representação.

Utilizando o exemplo anterior, a Figura 2.7 demonstra a aplicação do CPM numa rede de projeto AOA. As atividades são representadas por “ $\beta$ ”, as durações da atividade “ $\beta$ ” por “ $d\beta$ ” e o início e o fim das atividades pelos nós “ $i$ ” e “ $j$ ” respectivamente.

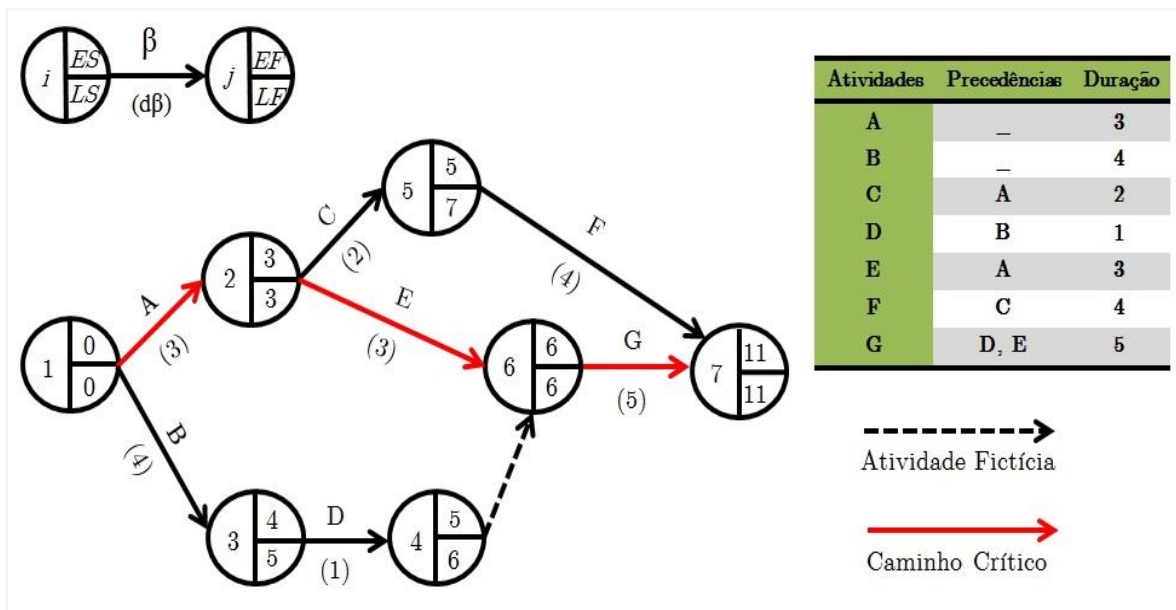


Figura 2.7- Representação do CPM numa Rede de projeto AOA

### 2.3.3 PERT

A inovação dos projetos é uma constante, quer pelas exigências do momento/cliente ou pelas exigências do próprio projeto. Levando ao aparecimento de atividades ditas únicas, para as quais não se conhece a sua duração, devido a nunca terem sido executadas, tornando mais difícil o controlo do projeto. [8]

Em 1958, deparados com estes problemas ao programar a fábrica de míssil Polaris, um grupo formado pela Marinha norte-americana, pela Booz-Allen & Hamilton International e pela empresa de projéteis balísticos Lockheed, conceberam o PERT (*Program Evaluation*

and Review Technique), introduzindo o conceito de duração probabilística das atividades.[3]

O método PERT estima a duração das atividades utilizando três parâmetros:

- Duração optimista (a), que corresponde ao tempo mínimo necessário para concluir a atividade, se tudo correr excepcionalmente bem;
- Duração pessimista (b), que corresponde ao tempo máximo esperado para concluir a atividade, se tudo correr mal;
- Duração mais provável (m), que corresponde ao tempo normal ou expectável para a execução da atividade.

Estabelecidos os três parâmetros, calcula a duração probabilística das atividades ( $T_e$  Tempo esperado) e a respetiva variância ( $\sigma^2$ ) pelas fórmulas seguintes, tendo por base a distribuição de probabilidade  $\beta$ , ver Figura 2.8. [3]

$$T_e = \frac{(a + 4m + b)}{6} \quad (2.13) \quad ; \quad \sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (2.14)$$

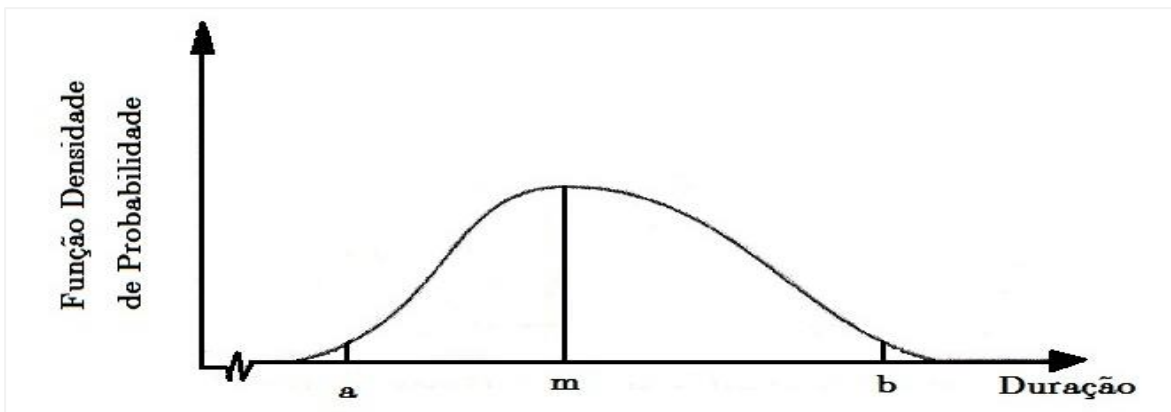


Figura 2.8- Exemplo da possível configuração da Distribuição de Probabilidade  $\beta$  [6]

Para calcular a duração total do projeto ( $D_T$ ), o método Pert reduz o caso probabilístico ao determinístico, mas para isso, é necessário, que se cumpra as seguintes condições: [9]

- O caminho crítico calculado tem de ser bastante longo em relação aos outros, de modo a que estes não cheguem a converter-se em caminho crítico durante a sua realização;

- O caminho crítico tem de ser constituído por um número de atividades suficiente para se poder aplicar o Teorema do Limite Central;

O Teorema do Limite Central diz que a soma das variáveis aleatórias independentes tende para uma Distribuição Normal, se o número de parcelas for suficientemente grande. [6]

Demonstra-se a aplicação da metodologia PERT, com o exemplo descrito na Figura 2.9, onde a duração da atividade “ $\beta$ ” é a duração probabilística ( $Te$ ).

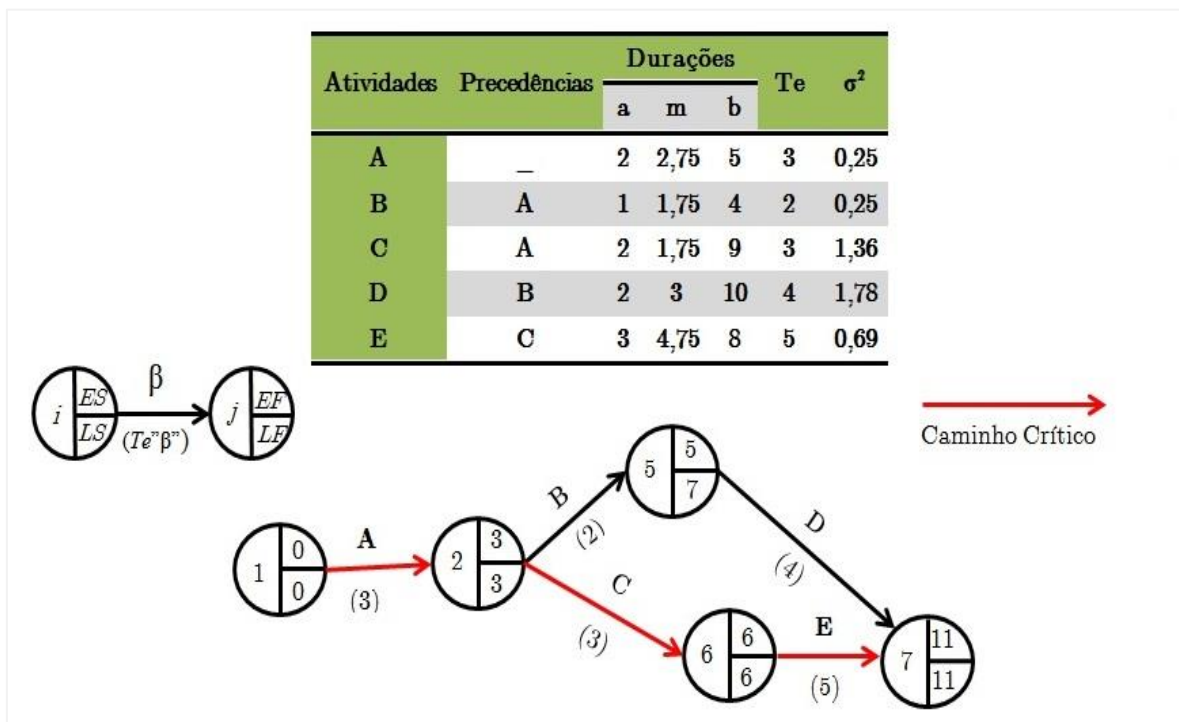


Figura 2.9- Exemplo de uma rede de projeto AOA para aplicação do método PERT

A duração do projeto ( $D_T$ ) será dada pela soma da duração esperada ( $Te$ ) das atividades do caminho crítico. [6]

$$D_T = Te_{A''} + Te_{C''} + Te_{E''} \quad (2.15)$$

$$\Leftrightarrow D_T = 3 + 2 + 5 = 11 \text{ dias}$$

A variância total ( $\sigma_T^2$ ) também será dada pela soma das variâncias parciais das atividades críticas. [6]

$$\sigma_T^2 = \sigma_{A''}^2 + \sigma_{C''}^2 + \sigma_{E''}^2 \quad (2.16)$$

$$\Leftrightarrow \sigma_T^2 = 0,25 + 1,36 + 0,69 = 2,3$$

A representação do PERT é em todo idêntico a do CPM, apenas introduz na rede de projeto as variâncias dos acontecimentos, que resultam da soma das variâncias das atividades que o determinam, como demonstra a Figura 2.10.

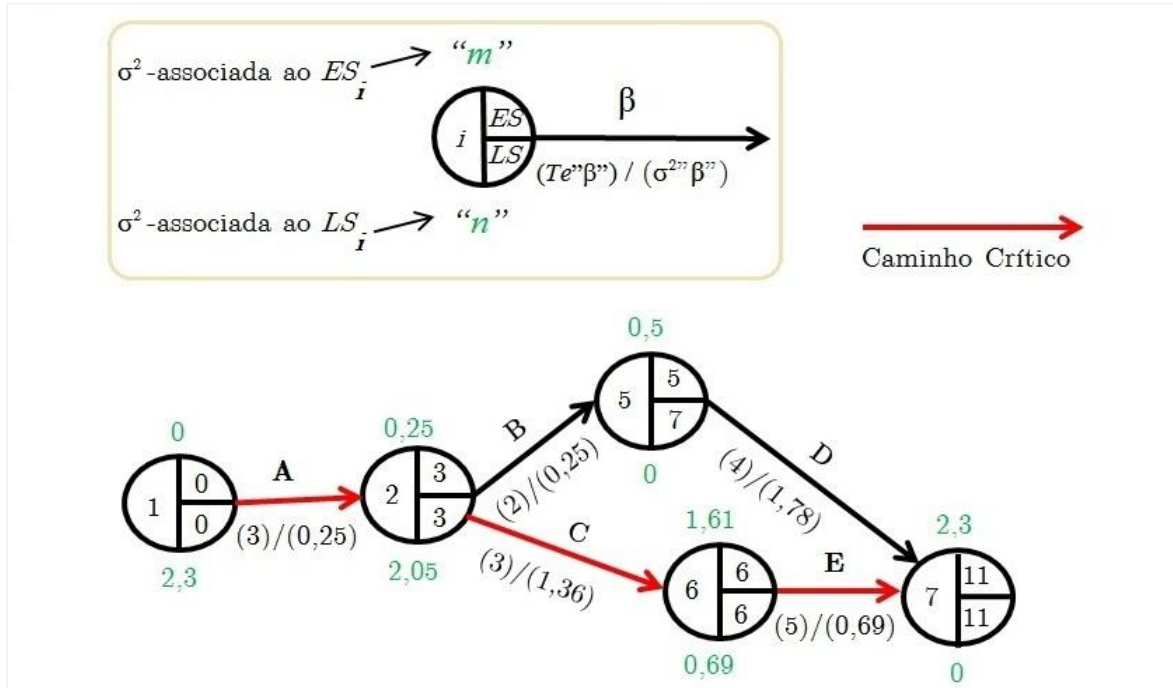


Figura 2.10- Representação do Método PERT na rede AOA (adaptado de [7])

Admitindo que as durações dos acontecimentos têm uma distribuição normal, pode-se saber a probabilidade da duração do projeto, usando a tabela da Distribuição da Lei Normal Reduzida. [7]

Assim sendo, para determinar a probabilidade de executar o projeto anterior antes de  $X$  dias (considerando  $X=15$  dias), usa-se a seguinte expressão:

$$P(D_T \leq X) = P\left(Z \leq \frac{X - D_T}{\sigma}\right) \tag{2.17}$$

$$\Leftrightarrow P(D_T \leq 15) = P\left(Z \leq \frac{15 - 11}{\sqrt{2,3}}\right) = P(Z \leq 2,64)$$

Utilizando a tabela da Distribuição da Lei Normal Reduzida, pode-se verificar que para um valor de argumento igual 2,64 a probabilidade pedida é de cerca de 99,59%, como nos demonstra a Figura 2.11. (adaptado de [6])

Tabela da Distribuição Normal Reduzida

z	z(0)	z(1)	z	z(0)	z(1)	z	z(0)	z(1)	z	z(0)	z(1)	z	z(0)	z(1)	z	z(0)	z(1)
0.01	0.4960	0.5040	0.51	0.5050	0.6985	1.01	0.1592	0.8408	1.51	0.0655	0.9345	2.01	0.0222	0.9778	2.51	0.0060	0.9940
0.02	0.4920	0.5080	0.52	0.5015	0.6985	1.02	0.1599	0.8461	1.52	0.0643	0.9357	2.02	0.0217	0.9783	2.52	0.0059	0.9941
0.03	0.4880	0.5120	0.53	0.4981	0.7019	1.03	0.1615	0.8485	1.53	0.0630	0.9370	2.03	0.0212	0.9788	2.53	0.0057	0.9943
0.04	0.4840	0.5160	0.54	0.4946	0.7054	1.04	0.1492	0.8508	1.54	0.0618	0.9382	2.04	0.0207	0.9793	2.54	0.0055	0.9945
0.05	0.4801	0.5199	0.55	0.4912	0.7089	1.05	0.1469	0.8531	1.55	0.0606	0.9394	2.05	0.0202	0.9798	2.55	0.0054	0.9946
0.06	0.4761	0.5239	0.56	0.4877	0.7123	1.06	0.1446	0.8554	1.56	0.0594	0.9406	2.06	0.0197	0.9803	2.56	0.0052	0.9948
0.07	0.4721	0.5279	0.57	0.4843	0.7157	1.07	0.1423	0.8577	1.57	0.0582	0.9419	2.07	0.0192	0.9808	2.57	0.0051	0.9949
0.08	0.4681	0.5319	0.58	0.4810	0.7190	1.08	0.1401	0.8599	1.58	0.0571	0.9429	2.08	0.0188	0.9812	2.58	0.0049	0.9951
0.09	0.4641	0.5359	0.59	0.4776	0.7224	1.09	0.1379	0.8621	1.59	0.0559	0.9441	2.09	0.0183	0.9817	2.59	0.0048	0.9952
0.10	0.4602	0.5398	0.60	0.4743	0.7257	1.10	0.1357	0.8643	1.60	0.0548	0.9452	2.10	0.0179	0.9821	2.60	0.0047	0.9953
0.11	0.4562	0.5438	0.61	0.4710	0.7291	1.11	0.1335	0.8665	1.61	0.0537	0.9463	2.11	0.0175	0.9825	2.61	0.0045	0.9955
0.12	0.4522	0.5478	0.62	0.4677	0.7324	1.12	0.1313	0.8687	1.62	0.0526	0.9474	2.12	0.0171	0.9829	2.62	0.0044	0.9956
0.13	0.4483	0.5518	0.63	0.4644	0.7357	1.13	0.1291	0.8709	1.63	0.0515	0.9485	2.13	0.0166	0.9834	2.63	0.0043	0.9957
0.14	0.4443	0.5558	0.64	0.4611	0.7391	1.14	0.1269	0.8731	1.64	0.0504	0.9496	2.14	0.0162	0.9838	2.64	0.0041	0.9959
0.15	0.4404	0.5598	0.65	0.4578	0.7424	1.15	0.1247	0.8753	1.65	0.0493	0.9507	2.15	0.0158	0.9842	2.65	0.0040	0.9960
0.16	0.4364	0.5638	0.66	0.4545	0.7457	1.16	0.1225	0.8775	1.66	0.0482	0.9518	2.16	0.0154	0.9846	2.66	0.0039	0.9961
0.17	0.4325	0.5678	0.67	0.4512	0.7491	1.17	0.1203	0.8797	1.67	0.0471	0.9529	2.17	0.0150	0.9850	2.67	0.0038	0.9962
0.18	0.4285	0.5718	0.68	0.4479	0.7524	1.18	0.1181	0.8819	1.68	0.0460	0.9540	2.18	0.0146	0.9854	2.68	0.0037	0.9963
0.19	0.4247	0.5758	0.69	0.4446	0.7557	1.19	0.1159	0.8841	1.69	0.0449	0.9551	2.19	0.0143	0.9857	2.69	0.0036	0.9964
0.20	0.4207	0.5798	0.70	0.4413	0.7591	1.20	0.1137	0.8863	1.70	0.0438	0.9562	2.20	0.0139	0.9861	2.70	0.0035	0.9965
0.21	0.4168	0.5838	0.71	0.4380	0.7624	1.21	0.1115	0.8885	1.71	0.0427	0.9573	2.21	0.0136	0.9864	2.71	0.0034	0.9966
0.22	0.4129	0.5878	0.72	0.4347	0.7657	1.22	0.1093	0.8907	1.72	0.0416	0.9584	2.22	0.0132	0.9867	2.72	0.0033	0.9967
0.23	0.4090	0.5918	0.73	0.4314	0.7691	1.23	0.1071	0.8929	1.73	0.0405	0.9595	2.23	0.0129	0.9870	2.73	0.0032	0.9968
0.24	0.4052	0.5958	0.74	0.4281	0.7724	1.24	0.1049	0.8951	1.74	0.0394	0.9606	2.24	0.0125	0.9873	2.74	0.0031	0.9969
0.25	0.4013	0.5998	0.75	0.4248	0.7757	1.25	0.1027	0.8973	1.75	0.0383	0.9617	2.25	0.0122	0.9876	2.75	0.0030	0.9970
0.26	0.3974	0.6038	0.76	0.4215	0.7791	1.26	0.1005	0.8995	1.76	0.0372	0.9628	2.26	0.0119	0.9879	2.76	0.0029	0.9971
0.27	0.3935	0.6078	0.77	0.4182	0.7824	1.27	0.0983	0.9017	1.77	0.0361	0.9639	2.27	0.0115	0.9882	2.77	0.0028	0.9972
0.28	0.3897	0.6118	0.78	0.4149	0.7857	1.28	0.0961	0.8999	1.78	0.0350	0.9650	2.28	0.0112	0.9885	2.78	0.0027	0.9973
0.29	0.3859	0.6158	0.79	0.4116	0.7891	1.29	0.0939	0.9021	1.79	0.0339	0.9661	2.29	0.0109	0.9888	2.79	0.0026	0.9974
0.30	0.3821	0.6197	0.80	0.4083	0.7924	1.30	0.0917	0.9043	1.80	0.0328	0.9672	2.30	0.0107	0.9893	2.80	0.0025	0.9975
0.31	0.3783	0.6237	0.81	0.4050	0.7957	1.31	0.0895	0.9065	1.81	0.0317	0.9683	2.31	0.0104	0.9896	2.81	0.0025	0.9976
0.32	0.3745	0.6277	0.82	0.4017	0.7991	1.32	0.0873	0.9087	1.82	0.0306	0.9694	2.32	0.0102	0.9899	2.82	0.0024	0.9977
0.33	0.3707	0.6317	0.83	0.3984	0.8024	1.33	0.0851	0.9109	1.83	0.0295	0.9705	2.33	0.0099	0.9901	2.83	0.0023	0.9977
0.34	0.3669	0.6357	0.84	0.3951	0.8057	1.34	0.0829	0.9131	1.84	0.0284	0.9716	2.34	0.0097	0.9904	2.84	0.0022	0.9978
0.35	0.3632	0.6397	0.85	0.3918	0.8091	1.35	0.0807	0.9153	1.85	0.0273	0.9727	2.35	0.0094	0.9906	2.85	0.0022	0.9978
0.36	0.3594	0.6437	0.86	0.3885	0.8124	1.36	0.0785	0.9175	1.86	0.0262	0.9738	2.36	0.0091	0.9909	2.86	0.0021	0.9979
0.37	0.3557	0.6477	0.87	0.3852	0.8157	1.37	0.0763	0.9197	1.87	0.0251	0.9749	2.37	0.0089	0.9911	2.87	0.0021	0.9979
0.38	0.3520	0.6517	0.88	0.3819	0.8191	1.38	0.0741	0.9219	1.88	0.0240	0.9760	2.38	0.0087	0.9913	2.88	0.0020	0.9980
0.39	0.3483	0.6557	0.89	0.3786	0.8224	1.39	0.0719	0.9241	1.89	0.0229	0.9771	2.39	0.0084	0.9916	2.89	0.0019	0.9981
0.40	0.3446	0.6597	0.90	0.3753	0.8257	1.40	0.0697	0.9263	1.90	0.0218	0.9782	2.40	0.0082	0.9918	2.90	0.0019	0.9981
0.41	0.3409	0.6637	0.91	0.3720	0.8291	1.41	0.0675	0.9285	1.91	0.0207	0.9793	2.41	0.0080	0.9920	2.91	0.0018	0.9982
0.42	0.3372	0.6677	0.92	0.3687	0.8324	1.42	0.0653	0.9307	1.92	0.0196	0.9804	2.42	0.0078	0.9922	2.92	0.0018	0.9982
0.43	0.3335	0.6717	0.93	0.3654	0.8357	1.43	0.0631	0.9329	1.93	0.0185	0.9815	2.43	0.0076	0.9924	2.93	0.0017	0.9983
0.44	0.3300	0.6757	0.94	0.3621	0.8391	1.44	0.0609	0.9351	1.94	0.0174	0.9826	2.44	0.0073	0.9927	2.94	0.0016	0.9984
0.45	0.3264	0.6797	0.95	0.3588	0.8424	1.45	0.0587	0.9373	1.95	0.0163	0.9837	2.45	0.0071	0.9929	2.95	0.0016	0.9984
0.46	0.3229	0.6837	0.96	0.3555	0.8457	1.46	0.0565	0.9395	1.96	0.0152	0.9848	2.46	0.0069	0.9931	2.96	0.0015	0.9985
0.47	0.3192	0.6877	0.97	0.3522	0.8491	1.47	0.0543	0.9417	1.97	0.0141	0.9859	2.47	0.0067	0.9932	2.97	0.0015	0.9985
0.48	0.3156	0.6917	0.98	0.3489	0.8524	1.48	0.0521	0.9439	1.98	0.0130	0.9871	2.48	0.0065	0.9934	2.98	0.0014	0.9986
0.49	0.3121	0.6957	0.99	0.3456	0.8557	1.49	0.0499	0.9461	1.99	0.0119	0.9882	2.49	0.0064	0.9936	2.99	0.0014	0.9986
0.50	0.3085	0.6997	1.00	0.3423	0.8591	1.50	0.0477	0.9483	2.00	0.0108	0.9893	2.50	0.0062	0.9938	3.00	0.0013	0.9987

Figura 2.11- Tabela da Distribuição da Lei Normal Reduzida

Em síntese, a metodologia PERT aplica-se quando há pouca informação para estimar a duração das atividades, partindo das estimativas da duração mais provável ( $m$ ), da duração optimista ( $a$ ) e da duração pessimista ( $b$ ) de cada atividade.

As suas limitações resumem-se essencialmente aos seguintes pontos: [10]

- Pode haver mais do que um caminho crítico, nesse caso o tempo total do projeto pode ser maior do que o tempo dado pelo caminho crítico considerado.
- Assume que a duração do projeto obedece a uma distribuição normal. Mas, se o número de atividades for pequeno, pode acontecer que a real distribuição de probabilidades seja longe da normal.
- Pode haver caminhos que, embora não sendo críticos, possam em alguns casos determinar a duração do projeto.

### 2.3.4 PDM

Em projetos de grandes dimensões ou de grande complexidade, criam-se relações complexas entre as atividades, que necessitam ser representadas no planeamento, de que é exemplo o desenvolvimento do Método de Diagramação de Precedências (*PDM-Precedence Diagramming Method*), para impor outros tipos de relações ou restrições entre atividades.

O seu nome teve origem numa extensão do CPM relacionada, especificamente, com relações de atividades, denominada como diagramação prioritária, que foi introduzida em 1964 num computador da IBM (IBM 1968). [5]

O PDM é um processo de planeamento CPM, que utiliza uma rede de projeto AON (*Activity-on-Node*) como representação gráfica. [5]

Permitir além de outros tipos de dependências entre atividades, atribuir o tempo de atraso ou de avanço dessas dependências.

Os tipos de dependências entre atividades são representados seguidamente, onde “*n*” representa um intervalo de tempo.

1) FS (*Finish to Start*- Concluir para Iniciar)

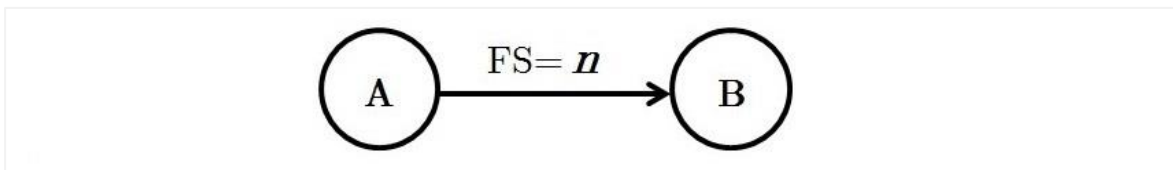


Figura 2.12- Representação FS numa rede AON

Esta representação significa que a atividade “B” só pode ter início após ou antes “*n*” dias de terminada a atividade “A”. Refere-se após ou antes, pois depende do sinal de “*n*”, se o sinal for positivo é após “*n*” dias, se for negativo é antes “*n*” dias, sendo esse período de espera denominado de *Lag* quando “*n*” positivo e de *Lead* quando “*n*” negativo. [5]

2) SS (*Start to Start*- Iniciar para Iniciar)

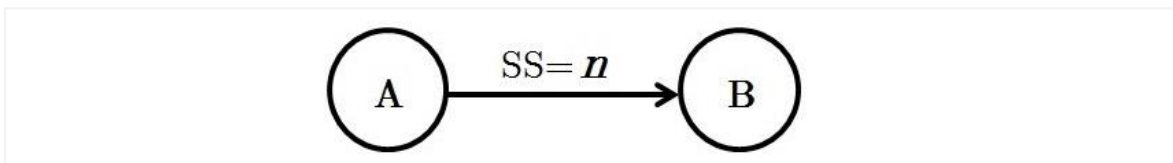


Figura 2.13- Representação SS numa rede AON

A atividade “B” só pode ter início após ou antes “*n*” dias de iniciada a atividade “A”. [11]

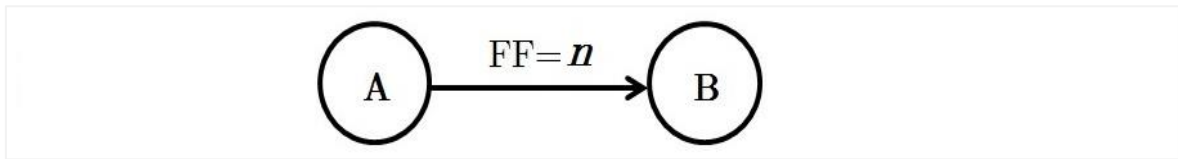
3) FF (*Finish to Finish*- Concluir para Concluir)

Figura 2.14- Representação FF numa rede AON

A atividade “B” deve terminar após ou antes “ $n$ ” dias de terminada a atividade “A”. [11]

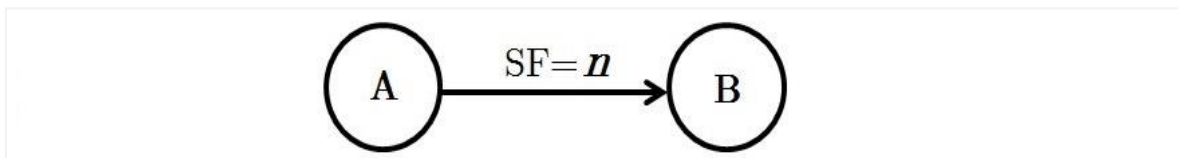
4) SF (*Start to Finish*- Iniciar para Concluir)

Figura 2.15- Representação SF numa rede AON

A atividade “B” deve terminar após ou antes “ $n$ ” dias de iniciada a atividade “A”. [11]

A dependência SF pode ser usada no planeamento, mas raramente ocorre na prática. [12]

Para uma melhor compreensão da metodologia, exemplifica-se a sua aplicação com o exemplo da Figura 2.16.

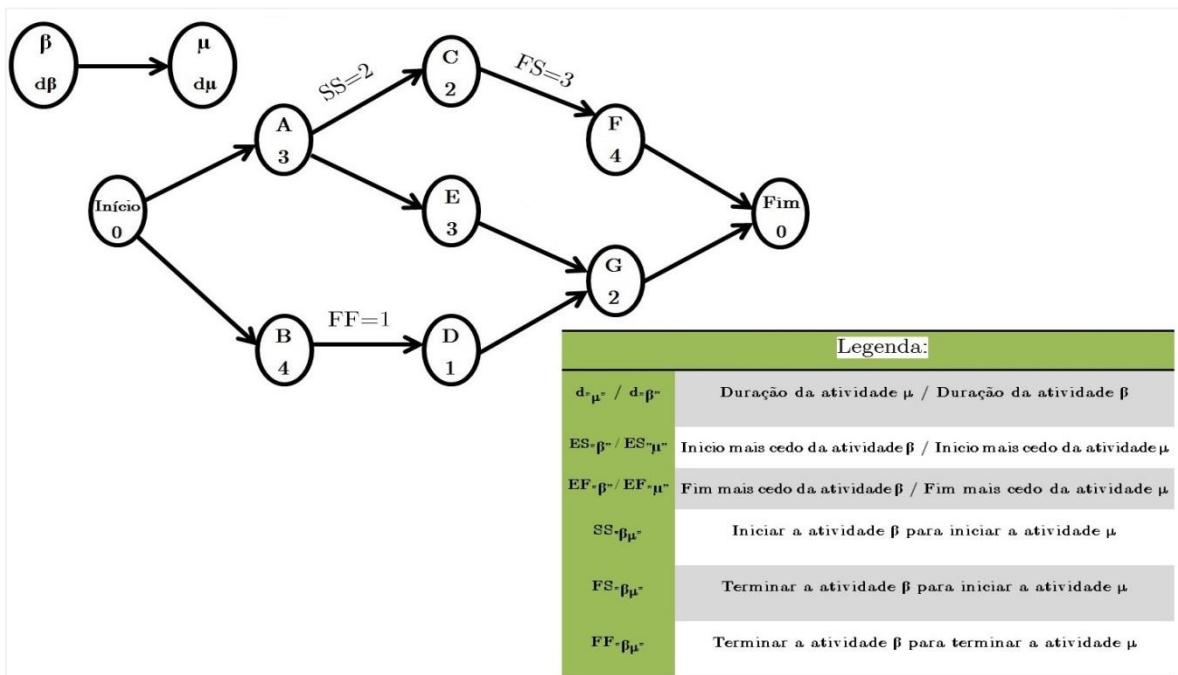


Figura 2.16- Exemplo para aplicação da metodologia PDM

Construída a rede de projeto AON, efetua-se o cálculo do  $ES$  e do  $EF$  de cada atividade como no CPM, tendo em consideração os seguintes critérios: [5]

$$ES^{\text{Início}} = 0 \quad (2.18)$$

$$ES^{\mu} = \text{máx.} \begin{bmatrix} EF^{\beta} + FS^{\beta\mu} \\ ES^{\beta} + SS^{\beta\mu} \\ EF^{\beta} + FF^{\beta\mu} - d^{\mu} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$EF^{\mu} = ES^{\mu} + d^{\mu} \quad (2.20)$$

Demonstra-se para as atividades do exemplo em estudo.

$$\text{Atividade "A"} \begin{cases} ES^{\text{A}} = ES^{\text{Início}} + d^{\text{Início}} = 0 + 0 = 0 \\ EF^{\text{A}} = ES^{\text{A}} + d^{\text{A}} = 0 + 3 = 3 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "C"} \begin{cases} ES^{\text{C}} = ES^{\text{A}} + SS^{\text{AC}} = 0 + 2 = 2 \\ EF^{\text{C}} = ES^{\text{C}} + d^{\text{C}} = 2 + 2 = 4 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "B"} \begin{cases} ES^{\text{B}} = ES^{\text{Início}} + d^{\text{Início}} = 0 + 0 = 0 \\ EF^{\text{B}} = ES^{\text{B}} + d^{\text{B}} = 0 + 4 = 4 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "D"} \begin{cases} ES^{\text{D}} = EF^{\text{B}} + FF^{\text{BD}} - d^{\text{D}} = 4 + 1 - 1 = 4 \\ EF^{\text{D}} = EF^{\text{B}} + FF^{\text{BD}} = 4 + 1 = 5 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "E"} \begin{cases} ES^{\text{E}} = ES^{\text{A}} + d^{\text{A}} = 0 + 3 = 3 \\ EF^{\text{E}} = ES^{\text{E}} + d^{\text{E}} = 3 + 3 = 6 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "G"} \begin{cases} ES^{\text{G}} = \text{máx.} \begin{bmatrix} ES^{\text{D}} + d^{\text{D}} \\ ES^{\text{E}} + d^{\text{E}} \end{bmatrix} = \text{máx.} \begin{bmatrix} 4 + 1 = 5 \\ 3 + 3 = 6 \end{bmatrix} = 6 \\ EF^{\text{G}} = ES^{\text{G}} + d^{\text{G}} = 6 + 2 = 8 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "F"} \begin{cases} ES^{\text{F}} = EF^{\text{C}} + FS^{\text{CF}} = 4 + 3 = 7 \\ EF^{\text{F}} = ES^{\text{F}} + d^{\text{F}} = 7 + 4 = 11 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "Fim"} \begin{cases} ES^{\text{Fim}} = \text{máx.} \begin{bmatrix} ES^{\text{F}} + d^{\text{F}} \\ ES^{\text{G}} + d^{\text{G}} \end{bmatrix} = \text{máx.} \begin{bmatrix} 7 + 4 = 11 \\ 6 + 2 = 8 \end{bmatrix} = 11 \\ EF^{\text{Fim}} = ES^{\text{Fim}} + d^{\text{Fim}} = 11 + 0 = 11 \end{cases}$$

Seguidamente, efetua-se o cálculo do  $LS$  do  $LF$  e da  $Float$ , tendo em conta os seguintes critérios: [5]

$$LF_{\text{Fim}''} = EF_{\text{Fim}''} \quad (2.21)$$

$$LS_{\beta''} = LF_{\beta''} - d_{\beta''} \quad (2.22)$$

$$LF_{\beta''} = \min. \begin{bmatrix} LS_{\mu''} - FS_{\beta\mu''} \\ LF_{\mu''} - FF_{\beta\mu''} \\ LS_{\mu''} - SS_{\beta\mu''} + d_{\beta''} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$Float_{\beta''} = LF_{\beta''} - EF_{\beta''} \quad (2.24)$$

Para as atividades do exemplo em estudo.

$$\text{Atividade "Fim"} \begin{cases} LF_{\text{Fim}''} = EF_{\text{Fim}''} = 11 \\ LS_{\text{Fim}''} = LF_{\text{Fim}''} - d_{\text{Fim}''} = 11 - 0 = 11 \\ Float_{\text{Fim}''} = LF_{\text{Fim}''} - EF_{\text{Fim}''} = 11 - 11 = 0 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "G"} \begin{cases} LF_{\text{G}''} = LS_{\text{Fim}''} = 11 \\ LS_{\text{G}''} = LF_{\text{G}''} - d_{\text{G}''} = 11 - 2 = 9 \\ Float_{\text{G}''} = LF_{\text{G}''} - EF_{\text{G}''} = 11 - 8 = 3 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "D"} \begin{cases} LF_{\text{D}''} = LS_{\text{G}''} = 9 \\ LS_{\text{D}''} = LF_{\text{D}''} - d_{\text{D}''} = 9 - 1 = 8 \\ Float_{\text{D}''} = LF_{\text{D}''} - EF_{\text{D}''} = 9 - 5 = 4 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "B"} \begin{cases} LF_{\text{B}''} = LF_{\text{G}''} - FF_{\text{BG}''} = 9 - 1 = 8 \\ LS_{\text{B}''} = LF_{\text{B}''} - d_{\text{B}''} = 8 - 4 = 4 \\ Float_{\text{B}''} = LF_{\text{B}''} - EF_{\text{B}''} = 8 - 4 = 4 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "F"} \begin{cases} LF_{\text{F}''} = LS_{\text{Fim}''} = 11 \\ LS_{\text{F}''} = LF_{\text{F}''} - d_{\text{F}''} = 11 - 4 = 7 \\ Float_{\text{F}''} = LF_{\text{F}''} - EF_{\text{F}''} = 11 - 11 = 0 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "C"} \begin{cases} LF_{\text{C}''} = LS_{\text{F}''} - FS_{\text{CF}''} = 7 - 3 = 4 \\ LS_{\text{C}''} = LF_{\text{C}''} - d_{\text{C}''} = 4 - 2 = 2 \\ Float_{\text{C}''} = LF_{\text{C}''} - EF_{\text{C}''} = 4 - 4 = 0 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "E"} \begin{cases} LF_{\text{E}''} = LF_{\text{G}''} = 9 \\ LS_{\text{E}''} = LF_{\text{E}''} - d_{\text{E}''} = 9 - 3 = 6 \\ Float_{\text{E}''} = LF_{\text{E}''} - EF_{\text{E}''} = 9 - 6 = 3 \end{cases}$$

$$\text{Atividade "A"} \begin{cases} LF_{\text{A}''} = \min. \begin{bmatrix} LS_{\text{C}''} - SS_{\text{CA}''} + d_{\text{A}''} \\ LS_{\text{E}''} \end{bmatrix} = \min. \begin{bmatrix} 2 - 2 + 3 = 3 \\ 6 \end{bmatrix} = 3 \\ LS_{\text{A}''} = LF_{\text{A}''} - d_{\text{A}''} = 3 - 3 = 0 \\ Float_{\text{A}''} = LF_{\text{A}''} - EF_{\text{A}''} = 3 - 3 = 0 \end{cases}$$

Seguidamente, efetua-se a representação dos resultados obtidos pelo PDM na rede de projeto AON, sendo em tudo idêntica à do CPM, com exceção da exposição do tipo de dependência entre as atividades, como se visualiza na Figura 2.17.

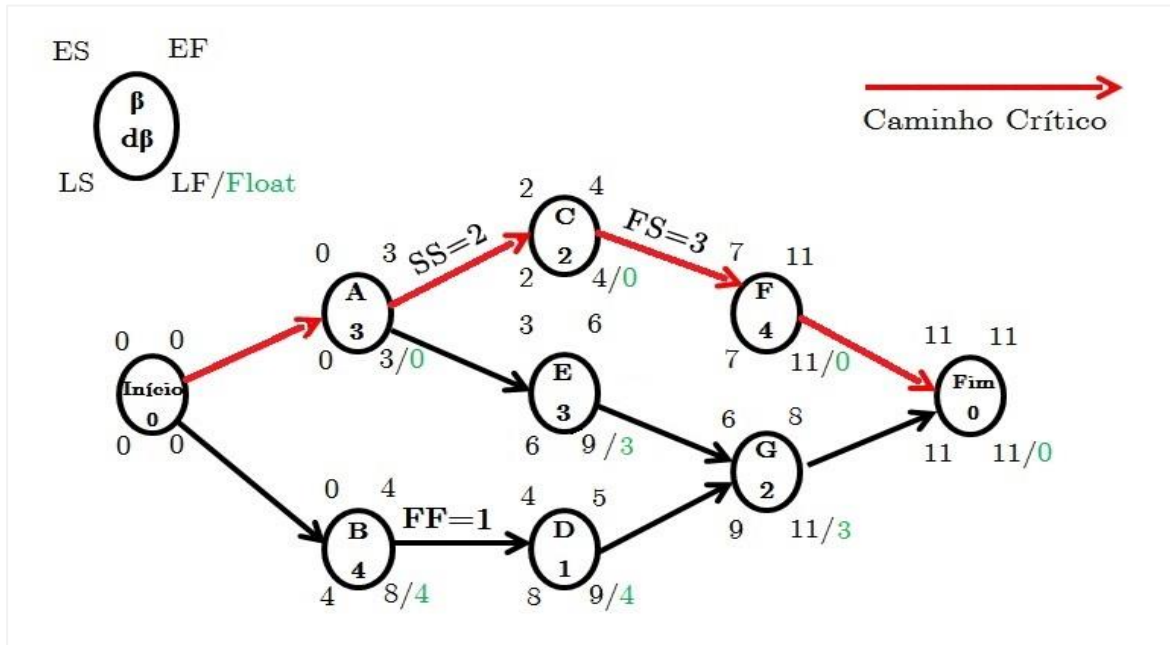


Figura 2.17- Representação dos resultados finais na Rede AON do PDM

### 2.3.5 LOB

A metodologia da Linha de Balanço (do inglês *Line-of-Balance* LOB) surgiu no início de 1940, na empresa Goodyear e foi desenvolvida pela Marinha dos EUA em 1950, sofrendo vários desenvolvimentos desde então. [13 e 14]

Foi aplicada inicialmente na indústria tradicional, com o objetivo de avaliar a taxa de produção dos produtos finais acabados. Após modificá-la, Lumsden usou-a em 1968 no planeamento da construção de moradias. Khisty, em 1970, aplicou-a no sentido clássico da fabricação e quatro anos depois Carr e Meyer usaram o mesmo método para obter as quantidades produzidas em qualquer altura da vida do projeto, descrevendo o método no seu estado atual. Em 1975, O'Brien desenvolveu, com base nos princípios fundamentais da Linha de Equilíbrio, o método da produção vertical (VPM). [14]

O uso da Linha de Balanço na construção civil propagou-se mais na Europa em obras com atividades bastante repetitivas, como estradas e pontes. [15]

Tendo por base o conceito da Linha de Equilíbrio, nos últimos 40 anos diversos métodos levaram a que tenham sido propostos para a construção repetitiva, como demonstra a Figura 2.18. [16]

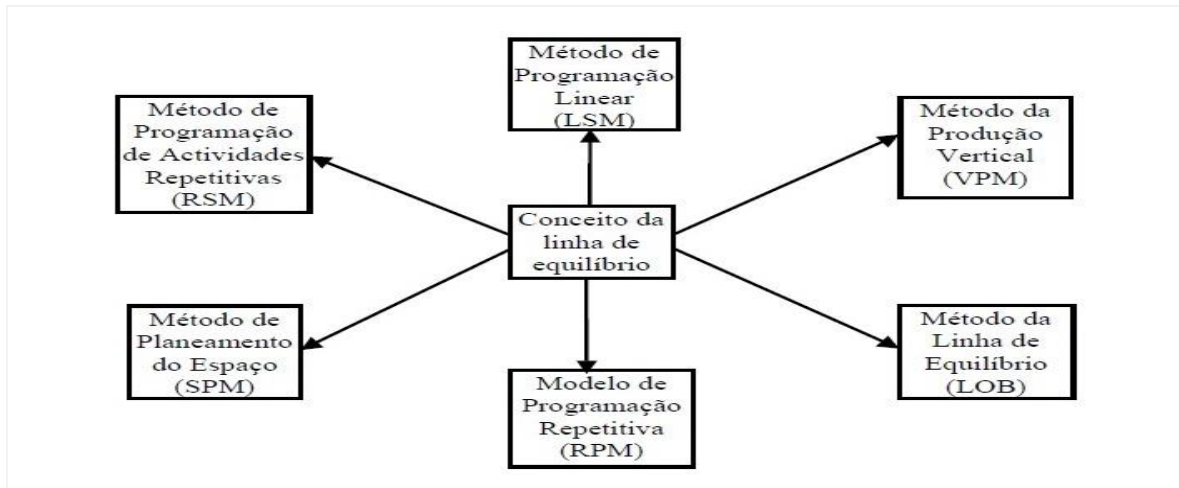


Figura 2.18- Evolução dos métodos a partir do conceito de Linha de Equilíbrio [16]

LOB é uma metodologia de planeamento e controlo que considera o carácter cíclico das atividades de um projeto, fornecendo uma visão simplificada da execução das atividades e de como melhorar a sua produtividade. [17]

A sua representação deriva do Gráfico de Gantt, podendo ser representada das seguintes formas:

- Em linha, como demonstra a Figura 2.19;

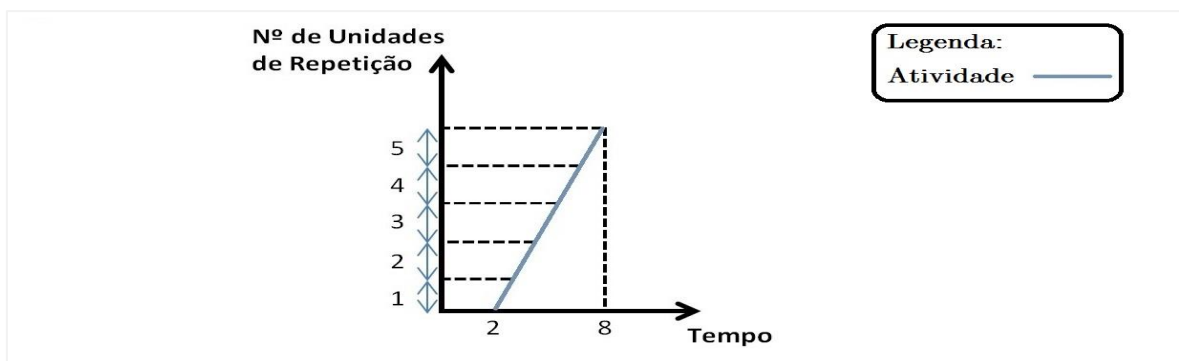


Figura 2.19- Representação da LOB sob a forma de linha

A execução da atividade dá-se continuamente ao longo do tempo, ou seja, é definida como sendo uma variável contínua, podendo assumir qualquer valor numérico num determinado instante de tempo. [13]

- Ou em barra.

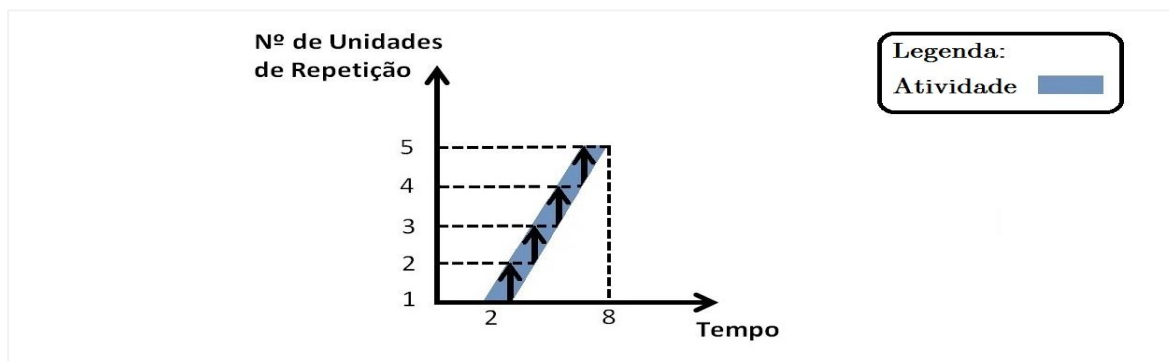


Figura 2.20- Representação da LOB sob a forma de barra

Neste tipo de representação, a atividade desenvolve-se ao longo do eixo das abcissas, provocando um salto entre a sua conclusão na primeira unidade e o início da segunda unidade da respectiva atividade, representado através de uma seta, ver Figura 2.20. [13]

Planear um projeto na metodologia LOB tem por base os seguintes pontos: [18]

- Definir as unidades de repetição, ver Figura 2.21, que depende da tipologia de obra e das tecnologias a serem utilizadas;
- Determinar as atividades a serem planeadas e as suas respetivas precedências;
- Dimensionar as equipas de trabalho para cada atividade, bem como os recursos necessários à sua realização;
- Estimar a duração de cada atividade para a realização de uma unidade de repetição;
- Determinar o tempo base (“Tb”), que é obtido através da rede de precedências na unidade básica;
- Definir o prazo da obra (“Dt”), tendo em consideração todas as condicionantes à viabilidade do mesmo;

- Determinar a estratégia de execução da obra, tendo em conta a sua dependência de diversos factores;
- Programar as atividades;
- Proceder a sua representação na LOB.

Na LOB, para determinar o ritmo médio da execução do projeto agregado como um todo, ver Figura 2.21, considerando que todas as atividades são paralelas, utiliza-se a seguinte expressão: [13]

$$Dt = Tm + Tb + Tr \quad (2.25)$$

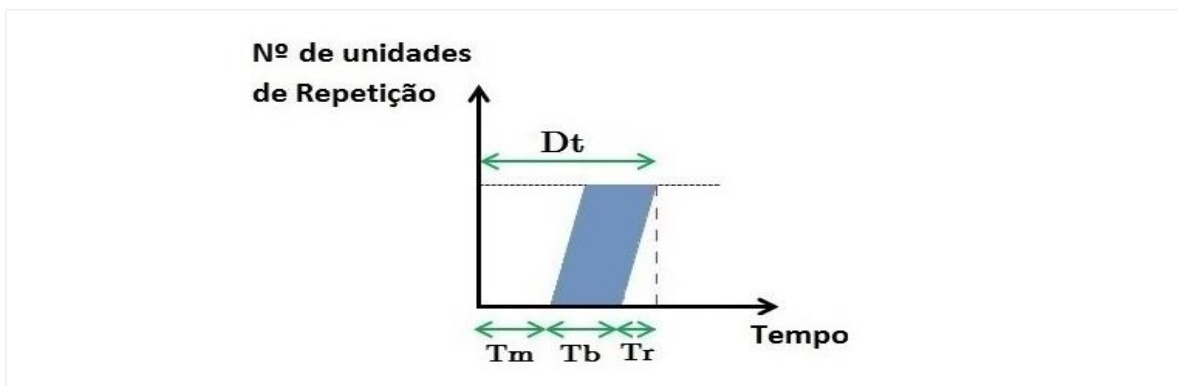


Figura 2.21- Variáveis globais do projeto na LOB (adaptado de [13])

A análise do exemplo exposto na Figura 2.22, ajuda a compreender algumas das características do método LOB.

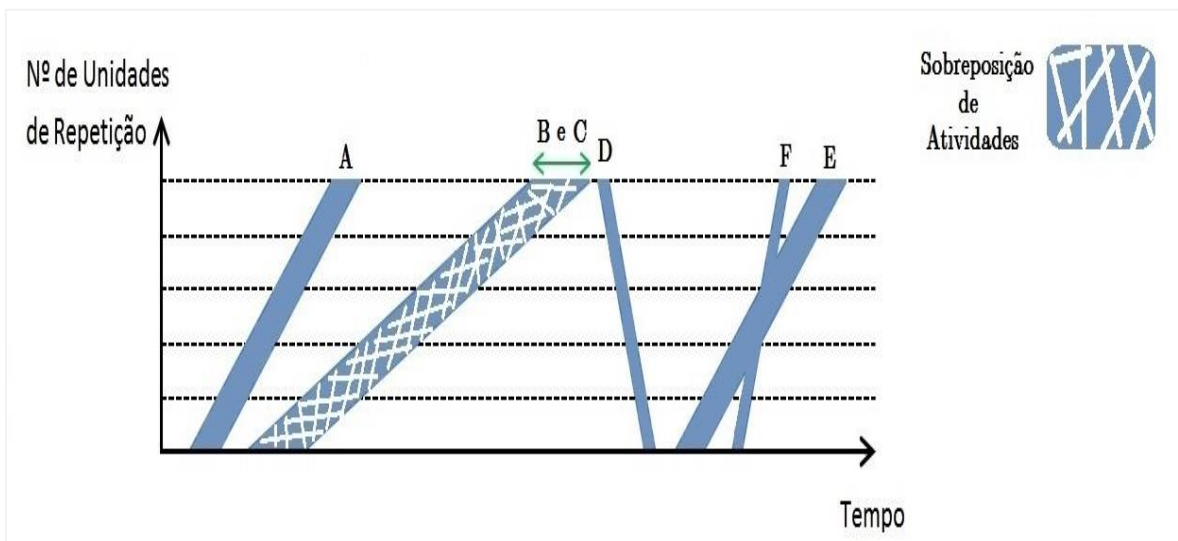


Figura 2.22- Representação de um exemplo de projeto na metodologia LOB

Ao analisar o exemplo, constata-se que existem atividades que se cruzam, e segundo o método LOB as atividades não devem cruzar-se. O cruzamento significa que a atividade sucessora ultrapassa a atividade que a precede, ou seja, há de conflitos de execução. O constatar desta evidência, é uma das vantagens da representação LOB em projetos com atividades repetitivas, o que permite executar a sua correção logo no planeamento. Essa correção pode ser efectuada das seguintes formas:

- Através do atraso da execução da atividade F;

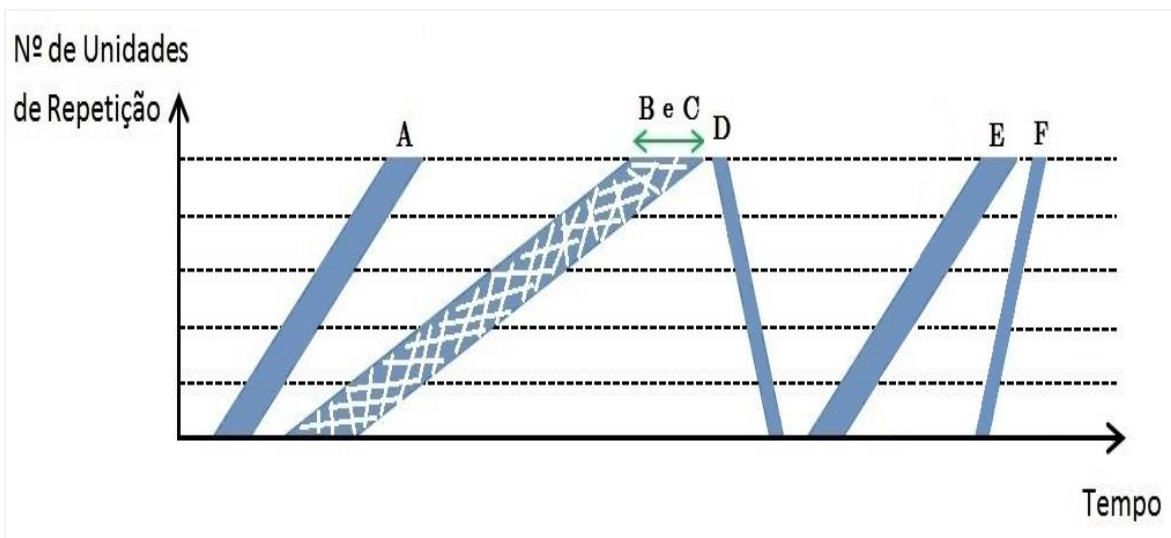


Figura 2.23- Exemplo de correção através do atraso da execução da atividade F

- Ou através da alteração do ritmo de produção da atividade F;

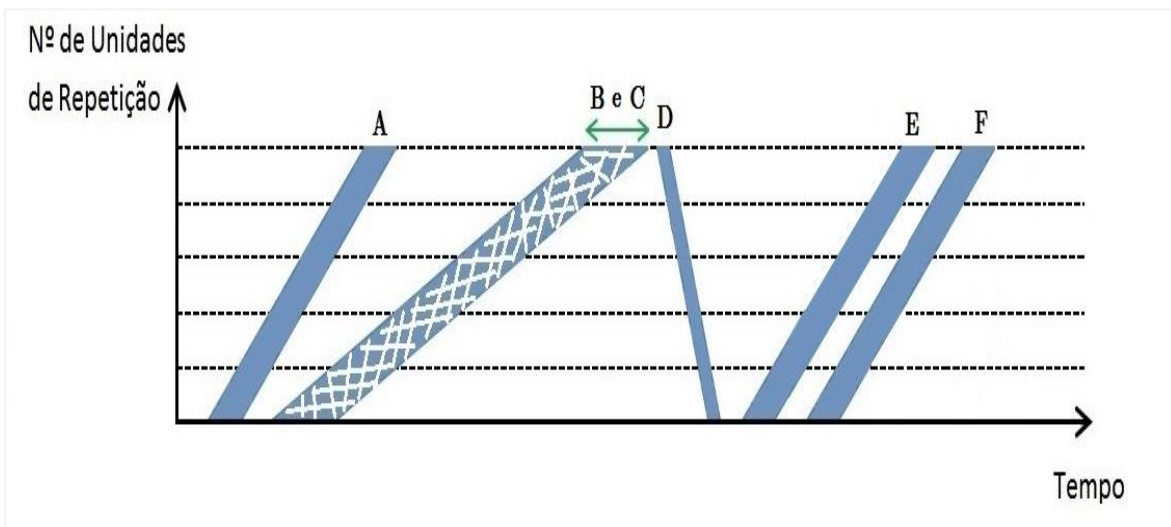


Figura 2.24- Exemplo de correção através da alteração do ritmo de produção da atividade F

- Ou através do atraso da execução da atividade, juntamente com a criação de interrupções à sua realização.

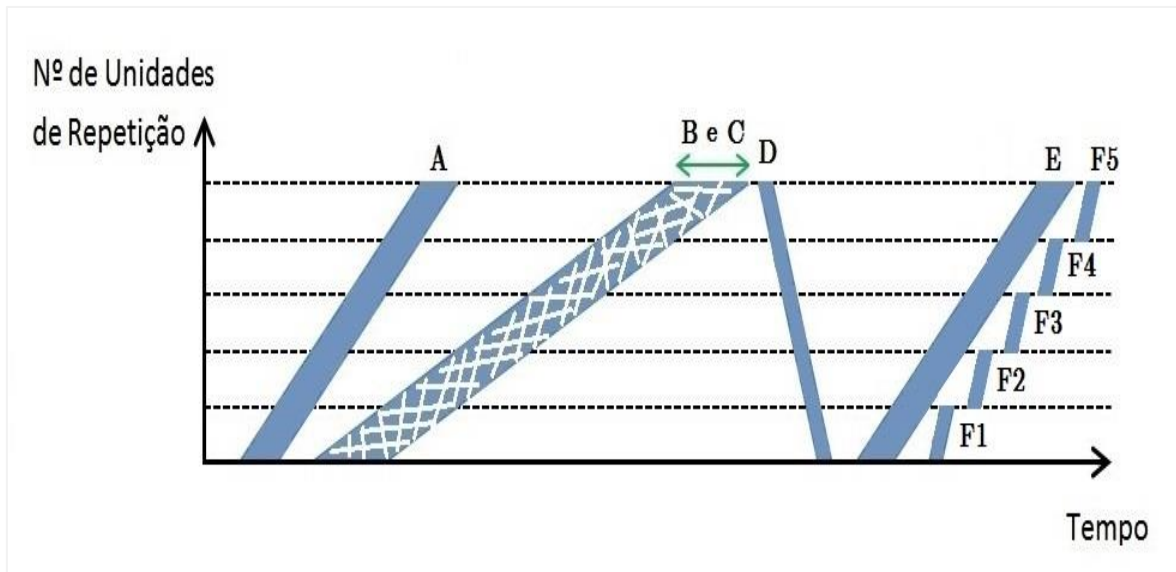


Figura 2.25- Exemplo de correção através do atraso com interrupções da atividade F

Contudo, o cruzamento entre atividades pode acontecer, desde que não exista dependências entre elas.

Verifica-se também que uma das atividades tem inclinação oposta às restantes, ver Figura 2.22.

Na metodologia LOB, o sentido da inclinação, ascendente ou descendente, é muito importante pois:

- As atividades com inclinação positiva, ascendente, iniciam-se da execução da primeira unidade para a última unidade;
- E as atividades com inclinação negativa, descendente, que é o caso do exemplo, se iniciam da execução da última unidade para a primeira. Temos como exemplo disso, a pintura exterior de um edifício.

Existem também atividades sobrepostas no exemplo, atividade B e C, o que significa que as atividades em questão são realizadas em simultâneo e têm o mesmo ritmo de produção.

O ritmo de produção ( $R_i$ ), ver Figura 2.26, pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$R_i = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades repetição executadas}}{(t_f - t_i)} \text{ unid./dia} \quad (2.26)$$

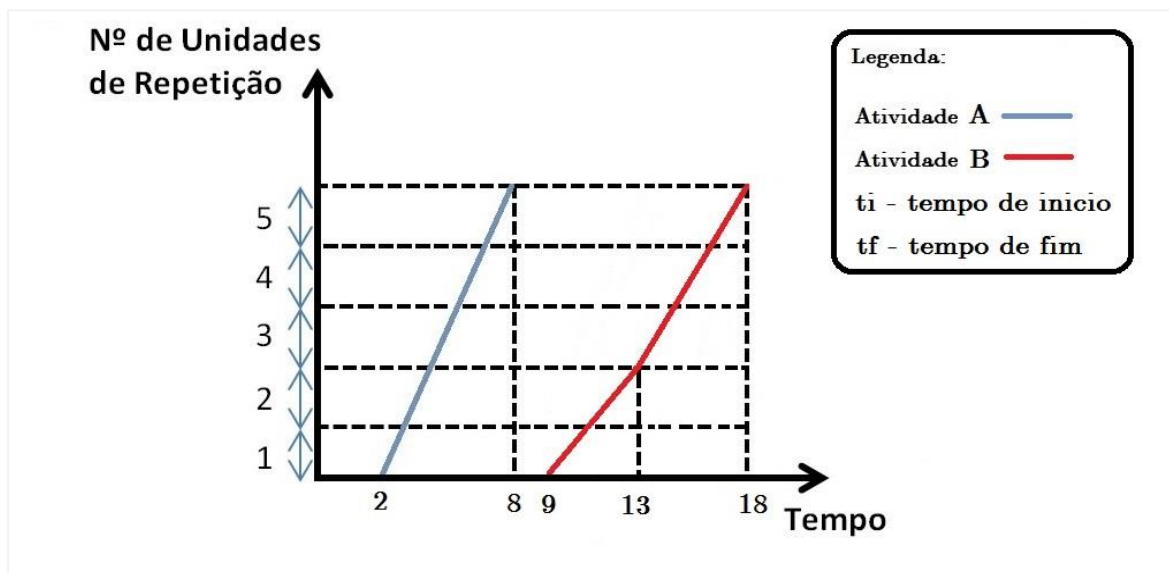


Figura 2.26- Representação de um exemplo para o de cálculo do ritmo de produção

No cálculo do ritmo da atividade “A”, que se constata que tem um ritmo uniforme sem interrupções, é efectuado do seguinte modo:

$$R_A = \frac{5}{(8 - 2)} = 0,833 \text{ unid./dia}$$

No caso da atividade “B”, vai ter dois ritmos de produção, como se verifica na visualização da sua representação na LOB. Deste modo, os ritmos da atividade “B” são os seguintes:

$$R_{B1} = \frac{2}{(13 - 9)} = 0,5 \text{ unid./dia} \quad ; \quad R_{B2} = \frac{3}{(18 - 13)} = 0,6 \text{ unid./dia}$$

Caso haja, mais do que uma equipa a realizar a atividade, pode-se calcular o ritmo de produção por equipa, fazendo uso da seguinte expressão:

$$R_{i/Equipa} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades repetição executadas}}{(t_f - t_i)} \text{ unid./dia/Equipa} \quad (2.27)$$

A obtenção do caminho crítico no planeamento LOB, pode ser determinado de diferentes formas, dependendo se a programação é paralela ou não.

A programação paralela consiste em todas as atividades do planeamento terem o mesmo ritmo de produção, é utilizado normalmente em projetos com poucas atividades e/ou muitas repetições nas unidades. [13]

No caso de a programação ser paralela, ver Figura 2.27, existe quatro formas de obter o caminho crítico, podendo ser 1-2-3 ou 4-5-6 ou 7-8-9 ou ainda 1-10-11. [18]

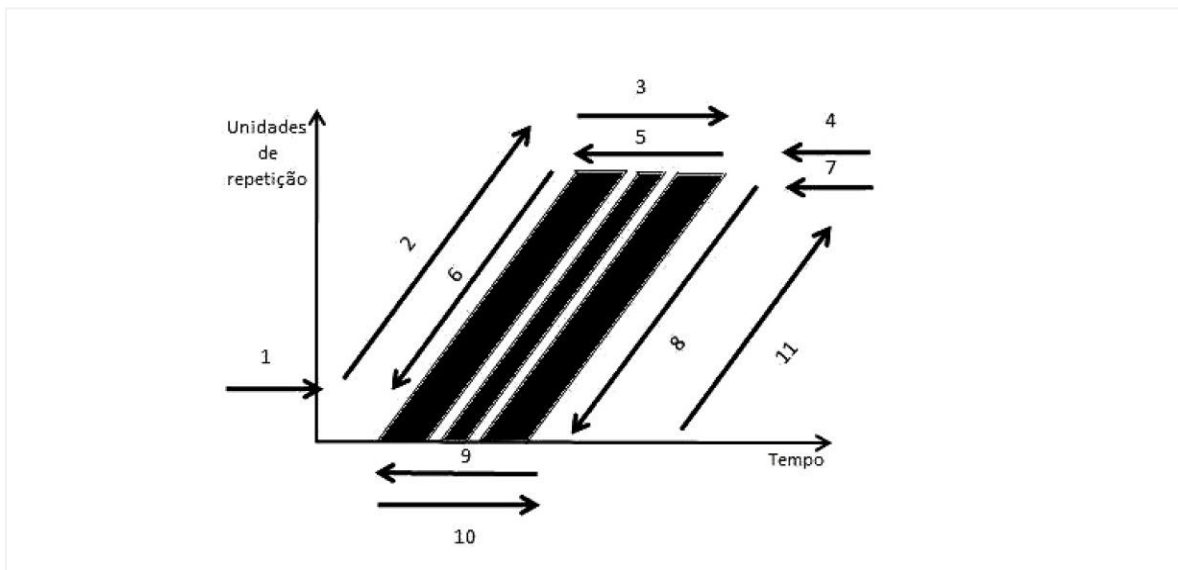


Figura 2.27- Exemplo de obtenção do caminho crítico na programação paralela LOB [18]

A programação dita não paralela, consiste em programar a execução de cada uma das atividades que constituem um projeto na sua razão natural de progresso, de modo a obter uma razão produtiva que muito se aproxime da razão de construção desejada. [13]

O caminho crítico também pode ser obtido de diversas formas, como demonstra a Figura 2.28.

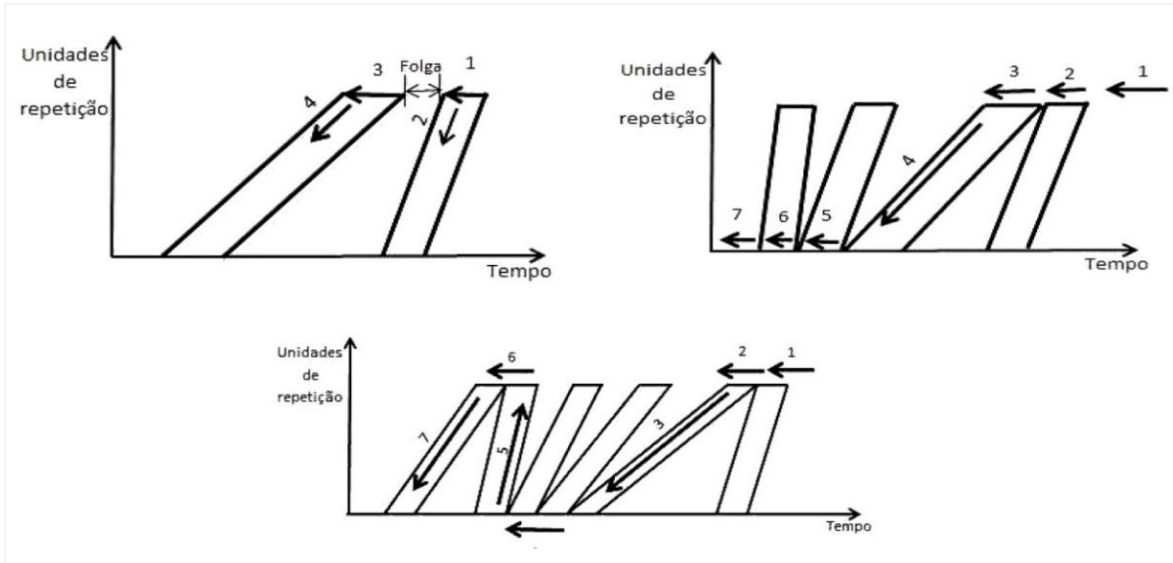


Figura 2.28- Exemplo de obtenção do caminho crítico na programação não paralela LOB [18]

No que diz respeito ao planeamento e nivelamento dos recursos, a LOB permite a visualização da alocação dos recursos durante todo o desenvolvimento do projeto, ver Figura 2.29.

O nivelamento é feito em função da duração de cada atividade. [13]

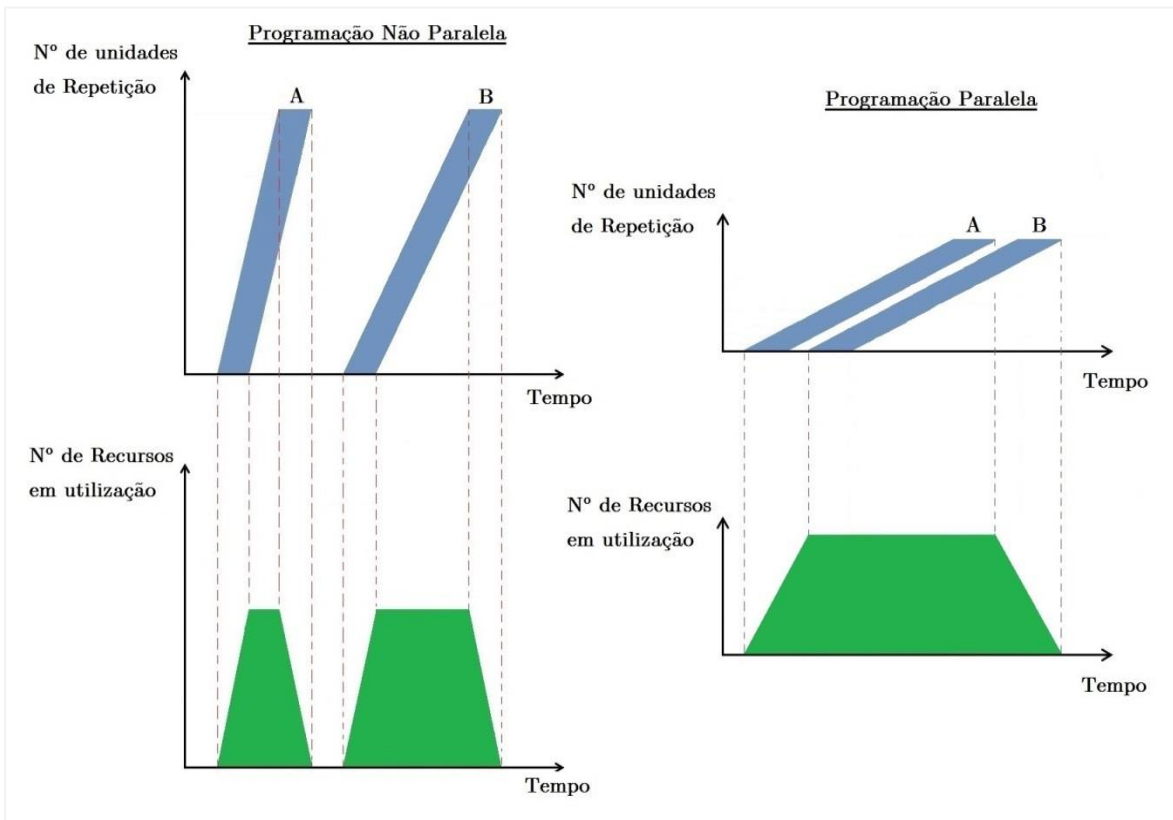


Figura 2.29- Exemplo da distribuição de recursos na LOB (adaptado de [18])

Verifica-se que na programação paralela existe uma maior estabilização no consumo dos recursos, ao contrário da distribuição não paralela onde a distribuição dos recursos é mais irregular, cada atividade gera um fluxo de recursos. [13]

Em síntese, pode dizer-se que as principais características da metodologia LOB são: [13 e 19]

- Determinar uma razão de produção;
- Manter a produção uniforme;
- Aumentar a produtividade;
- Optimizar o emprego dos recursos;
- Encurtar a duração do projeto;
- Obter benefícios da repetitividade.



### 3. Softwares para Planeamento da Construção

#### 3.1 Introdução

A situação atual do país, até da própria Europa, leva a que as empresas de construção civil necessitem cada vez mais de recorrer ao uso de ferramentas que ajudem a maximizar os seus resultados e a minimizar as suas deficiências. (adaptado de [20])

Uma das ferramentas fulcrais nos dias de hoje, são os softwares de gestão e planeamento que ordenam, vinculam cronologicamente as atividades e os recursos necessários para atingir os objectivos estabelecidos. [20]

Seguidamente enuncia-se alguns softwares que permitem a execução, controlo e orçamentação de um planeamento.

#### 3.2 Softwares Disponível no Mercado

##### 3.2.1 m4Pro ERP [21]

É um software de alto desempenho para empresas de Obras Civas e Terraplanagem, integra as ferramentas necessárias para o controlo de todos os processos desenvolvidos e para melhorar a qualidade da informação.

Possibilita definir uma obra desde o seu nascimento, a obtenção dos recursos quer humanos quer materiais necessários à sua execução, até ao seu encerramento com a certificação, faturação e contabilidade da mesma.

O software permite ao longo deste processo o seguinte:

- A importação de preços;
- O estudo do custo estimado;
- Conhecer os recursos necessários para a execução dos trabalhos;
- Realizar o controlo dos custos analíticos do potencial trabalho;

- Controlar os desvios;
- Controlar as facturas de fornecedores e notas de entrega;
- O aluguer externo/interno ou a terceiros de máquinas;
- Gerir os vencimentos;
- Controlar a própria oficina gerindo a ordem de trabalhos a reparar;
- Analisar os rendimentos das atividades e máquinas;
- Criar todo o tipo de listas e relatórios.

### 3.2.2 Primavera Contractor/P3 [22]

Ferramenta óptima para o planeamento diário, pois permite o planeamento e controlo da utilização dos recursos materiais e humanos, usar curvas de distribuição para alocação de recursos, criar gráficos de Gantt customizados, definir as responsabilidades das equipas de trabalho e a inserção de fotos e textos no Gráfico de Gantt, ver Figura 3.1, e monitorizar as horas de trabalho.

Este software possibilita a importação e exportação de cronogramas para o Microsoft Project, integrar dados com o Primavera Expedition, usar o Clain Digger<sup>1</sup> para análise e comparação das mudanças no cronograma, realizar relatórios padrão e criar novos relatórios através do “Report Wizard”.

O Primavera Contractor possui versões com limites de 750 a 2000 atividades, permite o acompanhamento dos caminhos críticos e controlo dos prazos e custos do projeto.

---

<sup>1</sup> Designação de uma componente do software.

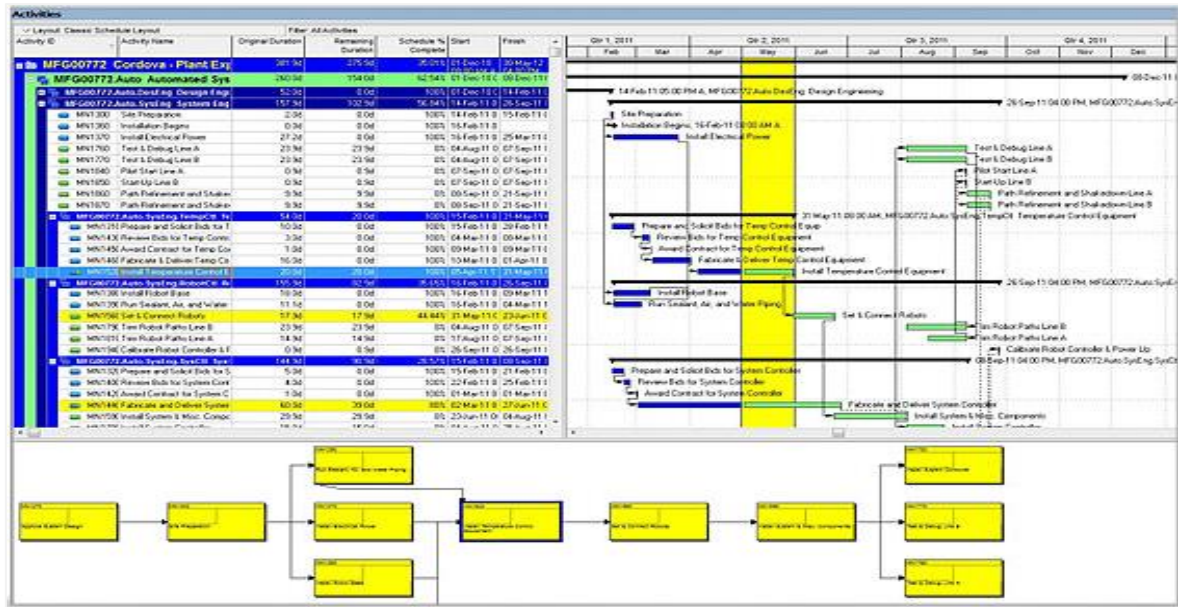


Figura 3.1- Página de cálculo do software Primavera Contractor [23]

O Primavera Project Planner P3, ver Figura 3.2, é semelhante em tudo ao Primavera Contractor, tendo o primeiro sido desenvolvido para a gestão de grandes projetos, com uma capacidade de definição até 100.000 atividades. Possibilita a realização de layouts e fusões de projetos, a importação e exportação para o Microsoft Project e Excel, a definição de calendários para os recursos e a definição até 31 calendários diferentes para as atividades.

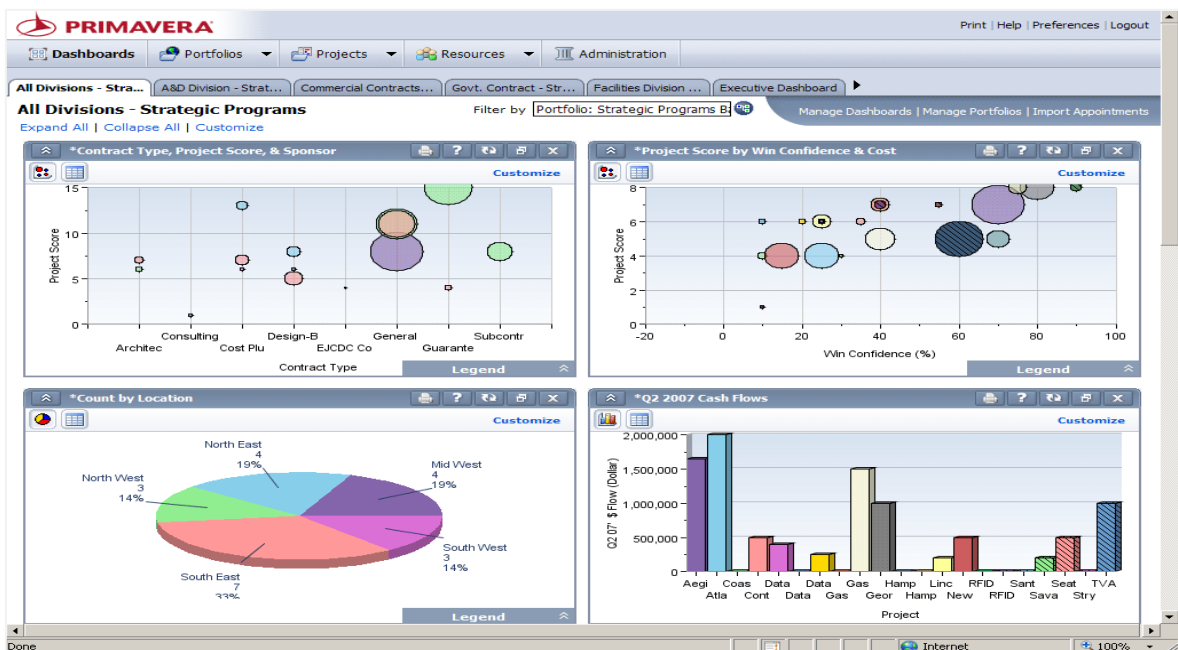


Figura 3.2- Página de cálculo do software Primavera Project Planner [24]

### 3.2.3 SmartDraw [25]

O SmartDraw é um software de projeto gráfico (Gráfico de Gantt), como demonstra a Figura 3.3, que permite a visualização dos dados de qualquer projeto e controlar o nível de detalhe que queremos ver durante o percurso de grandes gráficos. Indica quem está a fazer o quê e quando através da distribuição da responsabilidade de cada tarefa. É compatível com o Ms Project, o que possibilita visualizar os seus gráficos no Microsoft Project.

#	Task	Assigned To	Start	End	Dur	2012								
						Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	
	Business Prep. for Inspection 34		1/11/12	8/4/12	148	[Gantt bar spanning from Jan to Aug]								
1	Cost Analysis Data Prep.		1/11/12	3/13/12	45	[Gantt bar]								
2	Initial Meetings		2/12/12	3/10/12	20		[Gantt bar]							
3	Preparations		3/1/12	5/25/12	61			[Gantt bar]						
4	Gather All Data		3/2/12	4/7/12	26			[Gantt bar]						
5	Scenarios & Meetings		3/12/12	6/5/12	61			[Gantt bar]						
6	Stakeholders		4/2/12	4/21/12	15				[Gantt bar]					
7	Meeting Minutes (Dale)		4/12/12	5/24/12	30				[Gantt bar]					
8	Design/Print Invitations		4/2/12	5/26/12	40				[Gantt bar]					
9	Gather Data		5/1/12	7/3/12	45				[Gantt bar]					
10	Revisions		4/1/12	6/26/12	61				[Gantt bar]					
11	Model for Display		4/12/12	6/14/12	45				[Gantt bar]					
12	Prepare Report		5/1/12	6/14/12	32				[Gantt bar]					
13	Cost Analysis Tech Prep.		6/2/12	8/4/12	45					[Gantt bar]				
14	Distribute Invitations		5/1/12	6/9/12	29				[Gantt bar]					
15	Stakeholders 2		5/12/12	6/23/12	30				[Gantt bar]					
16	Publish All Reports		6/26/12	7/9/12	10						[Gantt bar]			

Figura 3.3- Página de cálculo do software SmartDraw [25]

### 3.2.4 GanttProject [26]

É um software gratuito de gestão de projetos e obras através da criação e gestão de cronogramas. Permite atribuir a cada tarefa do projeto os recursos financeiros e humanos; criar dependências entre tarefas; utilizar o Gantt chart de tarefas e de recursos gráficos (ver Figura 3.4); exibir o caminho crítico e o gráfico de Pert. É compatível com o Microsoft Project, gera relatórios em pdf e HTML.

Basta uma noção de tarefas, atribuição e dependências para dominar o GanttProject.

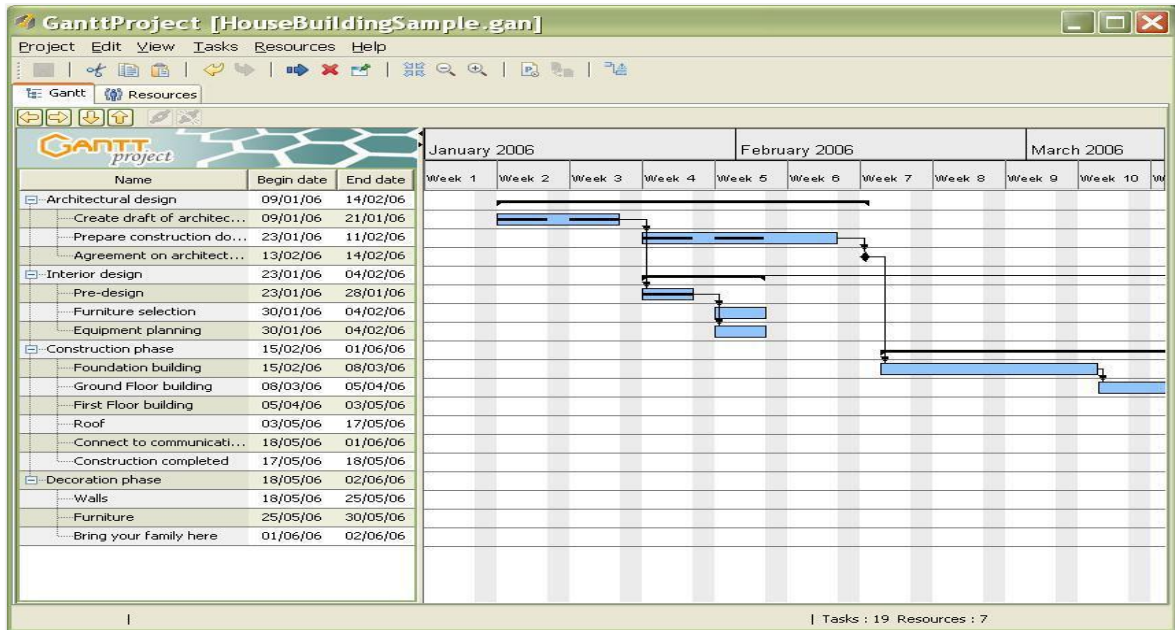


Figura 3.4- Página de cálculo do software Gantt Project [27]

### 3.2.5 xTime Project [28]

A Apple cria este software de gestão de projetos para os Mac's.

O xTime Project permite criar cronogramas de projetos através da produção de gráficos de Gantt, ver Figura 3.5, e da carga de recurso. Possibilita o lineamento rápido do projeto; criar gráficos de Gantt e de Pert; elaborar relatórios e diagramas do projeto; importar e exportar para o Microsoft Project; e analisar o caminho crítico.

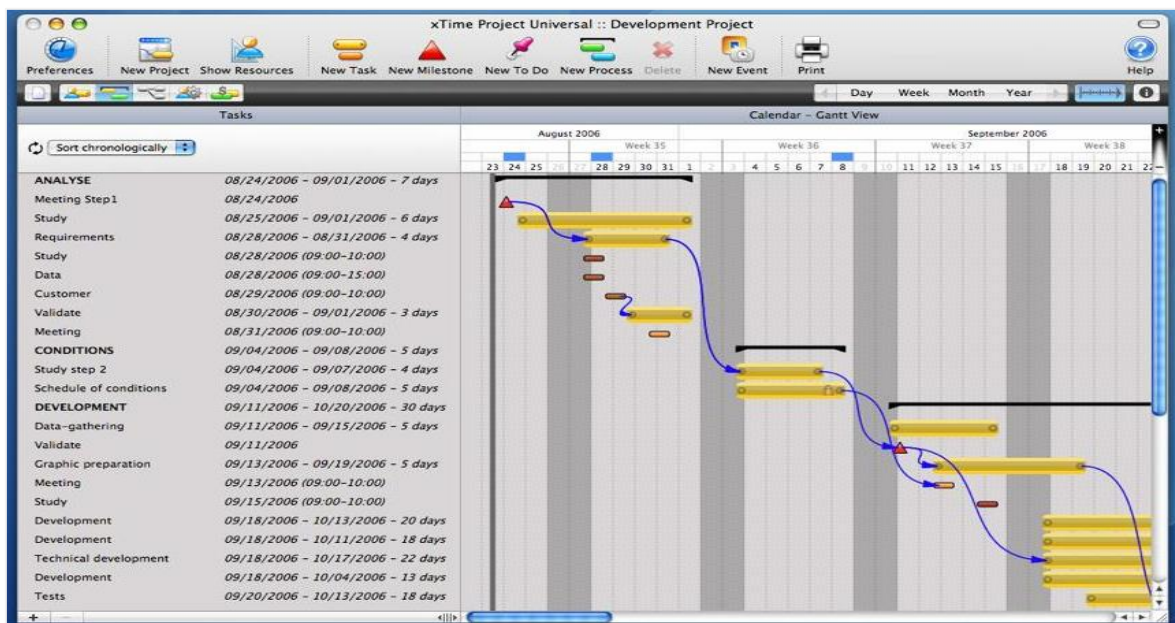


Figura 3.5- Página de cálculo do software xTime Project [29]

### 3.2.6 Arquimedes [30]

O software Arquimedes, ver Figura 3.6, é de muito fácil utilização. Trabalha com várias bases de preços e composições. Pode realizar o levantamento de quantidades diretamente de um projeto em Autocad. Permite a elaborar diagramas de tempo e atividades; cronogramas físico-financeiros; análise e ajuste do orçamento; relatórios de Curva ABC; gráficos de curva “S”; e é compatível com o Microsoft Project. Facilita o controlo das medições, contas a pagar ou a receber, entre outros.

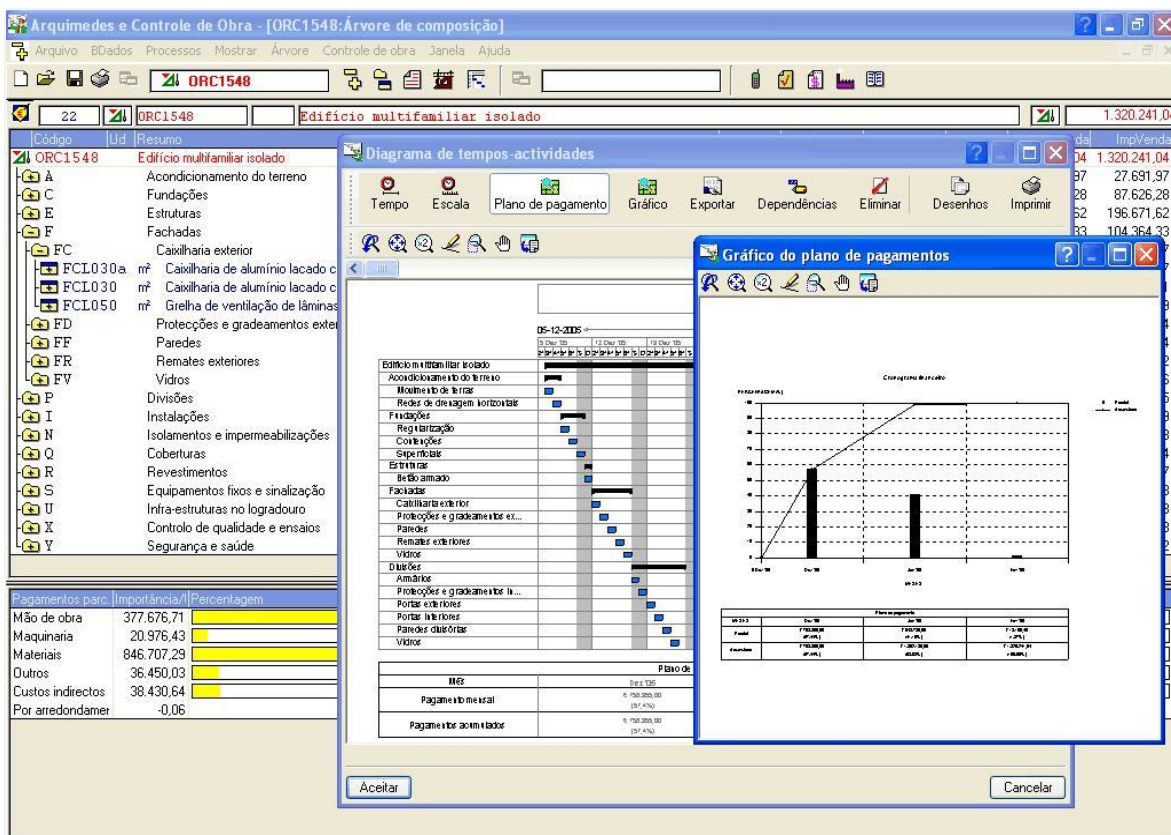


Figura 3.6- Página de cálculo do software Arquimedes [31]

### 3.2.7 Previso [32]

O Previso, ver Figura 3.7, realiza o planeamento, acompanhamento e controlo das obras tendo por base a relação entre o previsto, o faturado, o realizado e o custo. Permite a importação e exportação com os demais programas do Windows e exportações de cronogramas com o Microsoft Project. Este software possibilita criar gráficos, curvas “S” e

cronogramas físicos e de quantidades. Possui ferramentas para todas as etapas do planejamento que possibilitam o dimensionamento de recursos indiretos, relatórios das visitas a obra, rede de precedências, acesso a organogramas do Windows, matriz de responsabilidade, riscos entre outros. Com o controle da produção e das medições deste software possibilita que em situações de desvio seja possível efetuar intervenções, afim de os resultados serem alcançados.

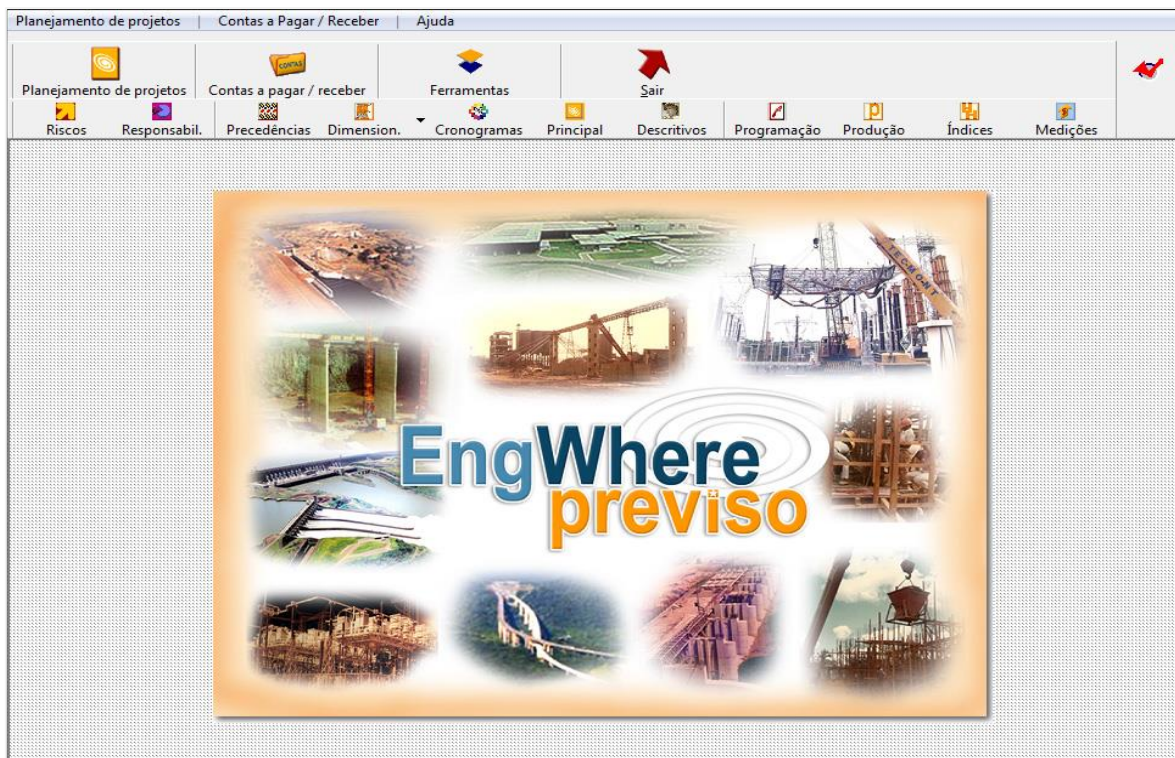


Figura 3.7- Página de cálculo do software Previso [32]

### 3.2.8 Compór 90 [33]

O Compór 90, ver Figura 3.8, tem como principais funcionalidades a orçamentação, planejamento e acompanhamento. Este executa os cálculos dos honorários de equipamentos e de produção das equipas com a emissão dos respectivos relatórios, permite a criação de curvas ABC, a exportação para o Microsoft Project e Excel, o reajustamento de preços utilizando um fator de reajustamento. Tem como opção definir o período de planejamento e de fazer cronogramas de quantidades ou de percentagem de serviços. Mostra a quantidade

de homens e equipamentos necessários em obra, cria cronogramas pela curva “S” e pelas horas trabalháveis de mão-de-obra e equipamentos. Possibilita fazer a comparação do previsto versus realizado e a criação do respetivo relatório.

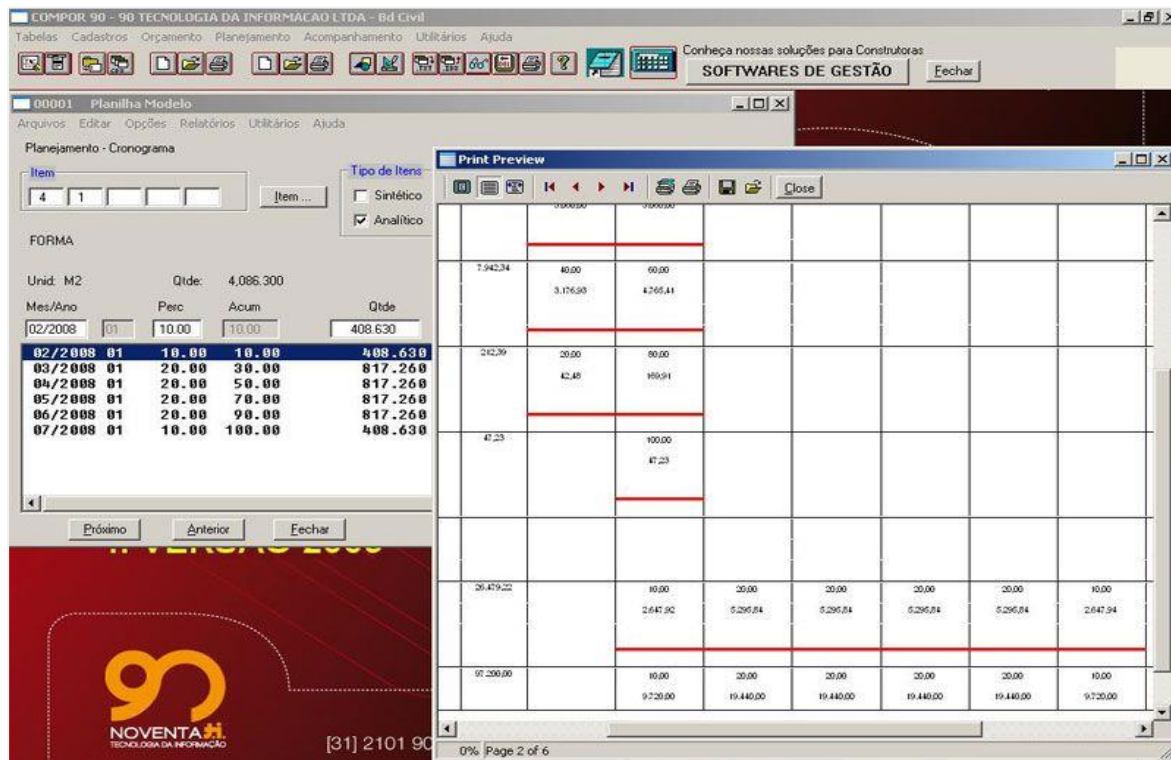


Figura 3.8- Página de cálculo do software Compor 90 [33]

### 3.2.9 Sienge [34]

O Sienge foi desenvolvido para ponderar todas as minuciosidades da construção civil, faz atualização de preços e regista informações de compras através do sistema de custos unitários. O sistema de orçamentação possibilita copiar o orçamento de outras obras, criar curvas ABC, entre outros. No que diz respeito ao sistema de planeamento, define cronogramas e exportar o planeamento para o Microsoft Project que possui mais ferramentas para o planeamento e acompanhamento. Depois de “melhorado” e importado para o Sienge, o sistema de acompanhamento de obra permite implementar conceitos de padronização, qualidade total e melhoria contínua.

## 3.2.10 Vico Control [35]

Software de gestão da construção baseado na estrutura de divisão local (LBS). Projeta horários significativamente compactos sem aumentar o risco. O Vico Control Flowline (representação gráfica do LOB), ver Figura 3.9, permite identificar visualmente os conflitos, analisar os cronogramas do projeto com base no progresso real da obra, visualizar o efeito das atividades em atraso e executar eventuais cenários para a sua correção muito rapidamente. Possibilita também a análise lado a lado dos gráficos de Gantt e do Flowline, a criação de simulações de projetos 5D ilustrando as correlações entre a construção, custos e prazos. Agiliza o planeamento dos projetos, o aumento da produtividade, previsibilidade e transparência. Pode utilizar elementos do modelo BIM para criar cronogramas e associá-los com as tarefas e os recursos correspondentes. O Vico Control de produção faz previsões prospectivas no cronograma para que os problemas sejam reparados a tempo, fornece uma estimativa do custo em evolução comparando prontamente com o custo planeado.

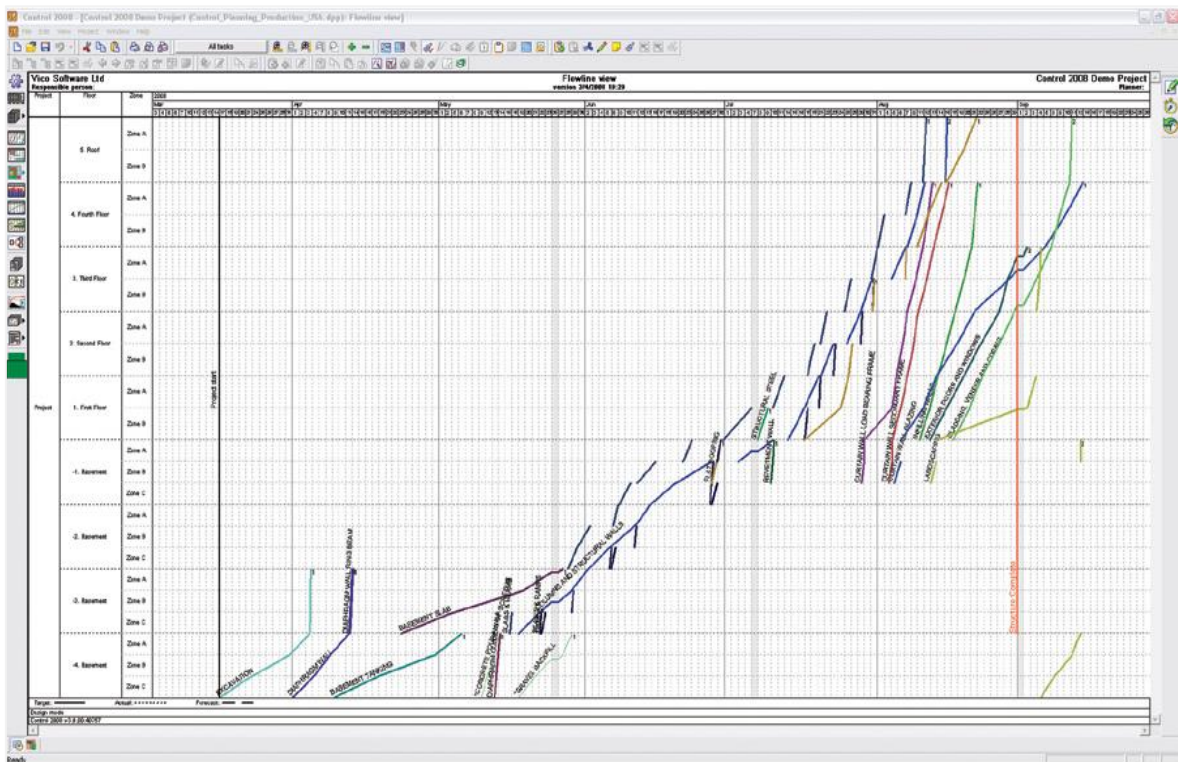


Figura 3.9- Representação Flowline do software Vico Control [35]

### 3.2.11 BIM

Building Information Modeling designa-se BIM, não é apenas um programa mas, para além disso, representa o conceito de modelação e integração de grande parte dos elementos que contêm informação de projeto num modelo virtual tridimensional do edifício, ver Figura 3.10.

Os elementos são paramétricos, o que permite uma relação e constante atualização, após alguma alteração, entre eles.

Em desenvolvimento está a introdução da dimensão tempo nos seus modelos, através da integração deste tipo de funcionalidade surge o 4D BIM, trazendo uma nova abordagem ao planeamento e controlo de obra. O 4D BIM tem sido utilizado, a título experimental, para analisar e visualizar projetos como forma de apoio à decisão, na análise de viabilidade do projeto e nas operações de construção, para desenvolver estimativas e gerir recursos, e para comunicar e colaborar com clientes e outros intervenientes em obra.

Não sendo perfeita, um modelo 4D é utilizado como ferramenta de visualização e comunicação para assinalar o trabalho já realizado e o que se encontra por fazer [36]

O Revit, o ArchiCAD, o Bentley Architecture, o Affinity, o DProfiler, o Visual Estimating, o Vico Control, são alguns dos softwares que interagem com o BIM. [37 e 38]

O BIM traz grandes vantagens, como a redução de incompatibilidades de especialidades, fácil extração de desenhos, facilidade de trabalho a longas distâncias, entre muitas outras.

Como maiores desvantagens destacam-se o custo inicial, e a dificuldade na interoperabilidade, ou seja, existe ainda perda de informação na transferência de ficheiros entre programas.



Figura 3.10- Esquema do conceito BIM [38]

### 3.2.12 Projeto Ap4 [39]

Cita-se a sua apresentação, o Ap4 é “A maneira mais simples para transformar suas informações de projeto AEC (arquitetura, engenharia e construção) em tarefas de projeto e compartilhá-las com suas equipas de projeto.”.

No Ap4 programa-se e gere-se o plano de trabalhos, distribui-se tarefas pelos elementos da equipa, define-se prazos e objetivos. Permite o uso do gráfico de Gantt, adição de e-mails, mensagens, pedidos de esclarecimentos, aprovações, fotos, entre outros às tarefas do projeto. Dispõem da aplicação Ap4 mobile que notifica todos os colaboradores, para que a informação seja partilhada na hora. Garante que todos trabalhem com a versão mais recente através da gestão do histórico da versão completa de cada arquivo, encripta todos os dados trocados com o servidor, bem como gere as pastas do projeto com níveis de acessibilidade autorizada para a informação apenas chegar a quem de direito e autentica o próprio servidor ao utilizador. Mostra o calendário de todas as atividades, tarefas e assuntos do projeto a realizar, produz relatórios com quadro de controlo de horas trabalhadas associado às tarefas e mostra o fluxo das atividades (Activity Stream) para uma visão geral do trabalho desenvolvido, como podemos ver na Figura 3.11.

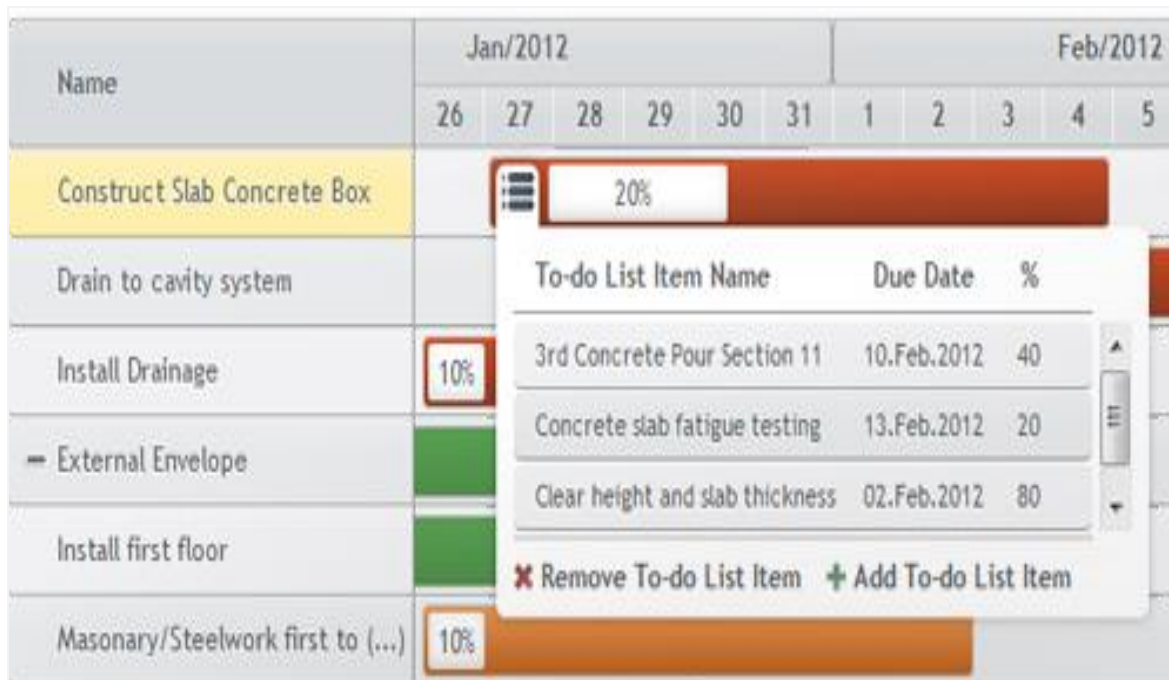


Figura 3.11- Página de cálculo do software Ap4 [39]

### 3.2.13 X-Pert [40]

Usado essencialmente por diretores e outros executivos para controlo do progresso, desempenho e custo dos projetos para uma melhor gestão e distribuição de recursos.

O X-Pert usa até 15000 tarefas e 100 subprojetos por arquivo, possibilita o uso até de 200 calendários diferentes e aloca-los separadamente para tarefas, recursos e dependências de controlo da gestão. Permite acompanhar e gravar o desenvolvimento das atividades do projeto, salientar possíveis problemas ao seu desenvolvimento e respetiva análise das ações corretivas. Calcula o custo real comparando-o com o orçamentado, cria relatórios padrão que incluem gráficos de Gantt, Gráficos de Pert, ver Figura 3.12, relatórios de progresso, curvas “S”, histogramas e relatórios de custo. Importa e exporta em vários formatos (texto, DIF, CSU, XML e MPX (somente para importação do Microsoft Project)).

Possibilita fazer simulações, calcular prazos viáveis e como atingi-los, executando um controlo e organização constante de projetos complexos.

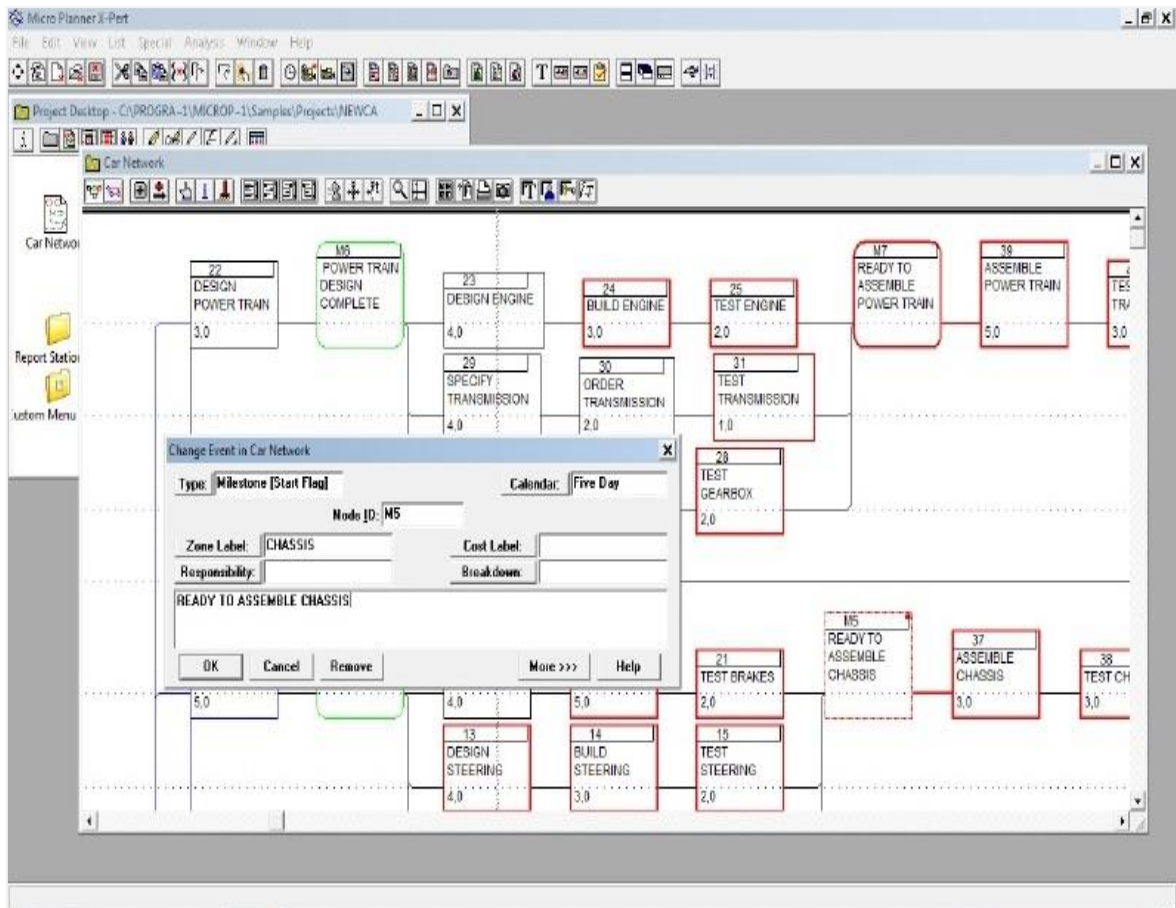


Figura 3.12- Página de cálculo do software X-Pert [40]

### 3.3 Microsoft Project [41]

O Microsoft Project (Project) foi desenvolvido pela Microsoft em 1985, é uma ferramenta adequada para a gestão de projetos, pois permite efetuar o planejamento e acompanhamento de toda a execução do projeto, bem como a gestão de todos os recursos necessários à sua realização.

Este software dispõe de diversas formas de visualização e inserção de dados do projeto, sendo que, por defeito, essa informação é visualizada através de um Gráfico de Gantt, ver Figura 3.13.

O Project utiliza um calendário Standard, onde estão os dias úteis, os fins de semana e o número de horas de trabalho diário, possibilitando a sua alteração para a tipologia que desejarmos e ainda atribuir diferentes horários para cada um dos recursos utilizados.

Representa graficamente o caminho crítico do projeto, ficando as atividades críticas a vermelho no Gráfico de Gantt e no Diagrama de Rede (Gráfico de Pert<sup>2</sup>). Permite anexar informação às tarefas (atividades), bem como as suas dependências, as suas folgas, os recursos necessários à sua realização e o seu respectivo custo.

No que diz respeito às relações de dependência entre tarefas (atividades), o Project permite definir os seguintes quatro tipos de dependências:

- *FS – Finish to Start;*
- *SS – Start to Start;*
- *FF – Finish to Finish;*
- *SF – Start to Finish.*

O Project cria seis tipos de relatórios, sendo eles:

- *Overview* (Descrição Geral): que fornecem uma visão geral do projeto;
- *Current Activities* (Atividades atuais): que fornecem informação sobre o que está a acontecer no projeto;
- *Costs* (Custos): que fornecem informação sobre o progresso do projeto em termos de custos;
- *Assignment* (Atribuições): que fornecem informação sobre a afetação de recursos às tarefas;
- *Workload* (Carga de Trabalhos): que fornecem informação sobre o esforço necessário para executar as tarefas;
- *Custom* (Personalizar): possibilita acesso a um conjunto de relatórios que podem ser personalizados ou também serem criados relatórios novos.

---

<sup>2</sup> Nas versões anteriores, à do Project 2003, o Diagrama de Rede era designado por Gráfico de PERT. Para se estimar durações optimistas, pessimistas e previstas das tarefas, utiliza-se as funcionalidades de análise PERT do Project.

É um software compatível com as aplicações do Microsoft Office, permite exportar informação para o Excel e importar atividades do Microsoft Outlook para o documento do projeto.

No quarto capítulo descrevem-se algumas opções deste software necessárias para a compreensão do desenvolvimento de um caso de estudo.

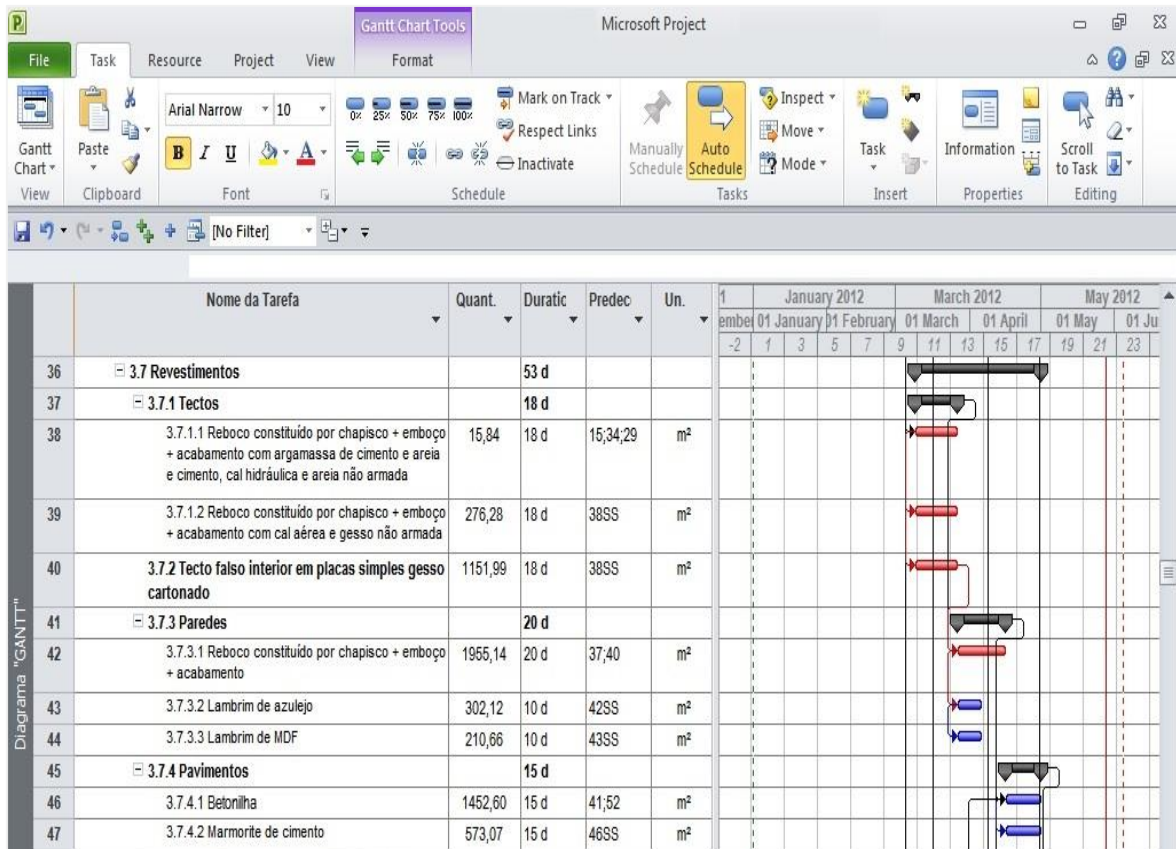


Figura 3.13- Página de cálculo do software Project

### 3.4 CCS - Candy [42]

A Construction Computer Software (CCS) foi fundada em 1978, dedicando-se exclusivamente à criação de soluções para os problemas do Planeamento e da Gestão da Construção.

O Sistema Candy é um sistema integrado de planeamento e gestão constituído essencialmente por quatro módulos, sendo eles o de Orçamentação, o de Planeamento, o de Controlo de Produção e o de “Cashflow”, ver Figura 3.15. Dispõe ainda de vários

utilitários vocacionados para a Construção, como Registo de Custos, Gestão de Desenhos, Reconciliação de Custos Estimados e Custos Reais, Base de dados de Fornecedores e Empreiteiros, entre outros, como demonstra a Figura 3.14.

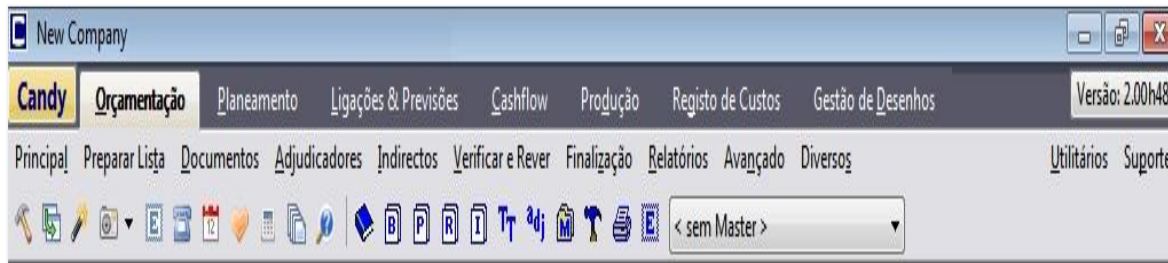


Figura 3.14- Vista dos principais elementos do ambiente de trabalho do Candy

O módulo de Orçamentação permite identificar facilmente os elementos críticos do orçamento. Possibilita uma composição consistente, precisa e bem documentada e com uma utilização até 16 moedas estrangeiras.

Permite a aplicação de margens de lucro, podendo os preços unitários serem majorados por especialidade, artigo ou por tipo de recursos, e a integração do Orçamento com o Planeamento originando uma maior precisão temporal das quantidades e dos custos.

O módulo de Planeamento utiliza o Método do Caminho Crítico, possibilita desenhar a rede de projeto detalhada das precedências, atribuir dois tipos de ligações entre duas atividades, ao contrário da grande maioria dos softwares de planeamento que só permitem um tipo de ligação. Possibilita anexar notas de referência às atividades, elaborar o Gráfico de Gantt, Rede de Precedências (PERT<sup>3</sup>) e o Diagrama Espaço/Tempo (LOB).

Os recursos são hierarquizados por categorias, em grupo de recursos ou em recursos simples, podendo ser analisados através de histogramas em relatórios impressos ou diretamente no ecrã.

Permite a utilização de diversas calendarizações para seguir e registar o desenvolvimento do projeto, e a sua integração com o módulo de Controlo de Produção e do “Cashflow”.

---

<sup>3</sup> Designada de PERT pela Construction Computer Software (CCS).

No quinto capítulo desenvolve-se este módulo, devido à sua utilização para análise de um dos casos de estudos.

O módulo de “Cashflow” serve para esboçar as condições necessárias de financiamento do projeto, permitindo a definição dos prazos de pagamento das facturas e definir as taxas de juro, as retenções para garantias, registar as receitas e efetuar o cálculo do Valor Atual Líquido (NPV).

Por fim, o módulo de Controlo de Produção permite a continuidade entre a proposta orçamental e a execução da obra, ou seja, a proposta orçamental pode ser modificada para retratar as situações de imprevistos ou trabalhos a mais que ocorram após apresentação da proposta inicial, possibilitando assim, a criação rápida de novos orçamentos e da obtenção de novas previsões e objectivos para a obra.

O Sistema Candy permite a importação e exportação de informação para Excel e para o Project, dispõe de um vasto conjunto de relatórios normalizados e de um editor de relatórios para personalizações.



Figura 3.15- Representação esquemática do Sistema Candy [42]

Em síntese, o software CCS – Candy possui as seguintes especificações:

- Planeamento orientado para a Construção;
- Gráficos de Barras e de Espaço-Tempo, no ecrã;
- Lista personalizada de atividades;
- Diversos calendários;
- Base de dados de configurações;
- Base de dados de recursos;
- Nivelamento de recursos;
- Monitorização do progresso;
- Registo do progresso executado;
- Calendarização Long lead e Information Schedule;
- Gráficos Espaço/Tempo;
- Integração com a Orçamentação, o Controlo de Produção e o Cashflow;
- Importação/Exportação de dados para Project, Primavera P6.

#### 4. Caso de Estudo 1- Construção de uma Ponte

##### 4.1 Descrição da Obra

O presente caso de Estudo diz respeito ao planeamento da construção de uma Ponte rodoviária na Estrada Nacional 210.

A obra de arte em questão, apresenta um vão total de 76,00m, distribuído por um vão central de 36,00m e dois vãos laterais com 18,00m e 22,00m. A altura máxima é de cerca de 12,00m.



Figura 4.1- Alçado da Ponte

O tabuleiro é composto por uma laje de nervura única central aligeirada, vazada, pré-esforçada, com uma altura constante de 1,65m. Sendo suportado por dois pilares de geometria elíptica através de uma ligação monolítica e apoiado nos encontros por aparelhos de apoio tipo “pot” multidireccionais e por blocos de neoprene cintado colocados em coxins metálicos que impedem os deslocamentos transversais.

Em conformidade com o perfil transversal da Estrada Nacional neste troço, esta obra de arte apresenta um perfil transversal tipo com duas faixas de rodagem de uma via, com as seguintes dimensões:

- Guardas de segurança, passeios, guarda-corpos e cornija (2x1,125);
- Bermas (2x1,00);
- Faixa de rodagem (2x3,50).

As principais características da integração da obra com os aspectos paisagísticos são a sua reduzida extensão e a baixa altura a que se desenvolve, proporcionando a sua Arquitetura uma solução de transparência visual e uma silhueta simples e agradável.

#### 4.1.1 Atividades da Obra

O planeamento de um projeto requer a definição de todas as atividades necessárias à sua realização.

Para a execução da obra, neste caso de estudo uma Ponte, são necessárias as seguintes atividades:

- Consignação;

A consignação da obra é o ato pelo qual o dono da obra faculta ao empreiteiro os locais onde irão ser executados os trabalhos, bem como os elementos complementares do projeto necessários para que se possa iniciar a sua execução.

- Estaleiro;

O estaleiro é o espaço físico onde estão implementadas todas as instalações de apoio à execução da obra. Para a sua execução são necessárias as seguintes tarefas:

- Montagem do Estaleiro;

Consiste na preparação e montagem de todas as construções auxiliares, equipamentos e demais instalações indispensáveis para a execução da obra nas melhores condições.

- Manutenção do Estaleiro;
- Implementação do Plano de Segurança;
- Sinalização Temporária e desvio de Trânsito;

- Desmontagem do Estaleiro;
- Execução da Ponte;

A Execução da Ponte consiste na realização das tarefas:

- Trabalhos preparatórios e Movimentação de Terras;

Esta tarefa divide-se na realização das seguintes subtarefas:

- Execução de Ensecadeiras e realização de Acessos;
  - Escavação para abertura de Fundações com Recurso a Explosivos e Transporte de Solos para Vazadouro;
  - Aterro junto à Estrutura.
- Fundações;

A tarefa Fundações remete-se exclusivamente à realização da subtarefa:

- Betão Armado;

Engloba a execução de cofragens, execução das armaduras (A400NR), a execução, o transporte e a colocação do Betão (C25/30).

- Pilares e encontros:
  - Betão Armado (C35/45, A400NR);
  - Aparelhos de Apoio.
- Tabuleiro:
  - Betão Armado e Pré-Esforçado;

Consiste não só na realização dos pontos referidos para o Betão Armado (C35/45, A400NR) como também na aplicação de 8 cabos de pré-esforço, constituídos por 22 cordões de 6" colocados em bainhas metálicas nervuradas injetadas com caldas de cimento após aplicação da tensão (Aço de baixa relaxação (<2,5% às 1000h à tensão 0,7 fpuk, 20°C) 1670/1860).

➤ Acabamentos;

Os Acabamentos englobam a realização das seguintes subtarefas:

- Juntas de Dilatação;
- Passeios;
- Drenagem;
- Guarda-Corpos;
- Infraestruturas Elétricas;
- Reconstrução de Muros existentes em Pedra Irregular.

➤ Pavimentação;

A Pavimentação incorpora a realização das seguintes tarefas:

- Camadas Betuminosas;

As Camadas Betuminosa implicam a realização de três subtarefas:

- Camadas de Regularização em Macadame Betuminoso;

Consiste numa camada em mistura betuminosa situada sob a camada de ligação, que tem como principal função proporcionar uma superfície desempenada para aplicação desta camada. [43]

- Camadas de Ligação em Macadame Betuminoso com 0,07m;
- Camada de Desgaste em Betão Betuminoso com 0,05m.
- Regas Betuminosas.

A superfície de cada camada de pavimento tem de ser tratada de acordo com a sua especificidade, dividindo-se esta tarefa nas seguintes subtarefas:

- Rega de Impregnação Betuminosa;

Consiste na aplicação de um ligante hidrocarbonado sobre uma camada não betuminosa, sobre a qual irá ser aplicada uma camada betuminosa, tendo como principal objectivo proporcionar uma maior coesão à superfície, antes da aplicação da camada betuminosa.[43]

- Rega de Colagem.

A Rega de Colagem consiste na aplicação de uma emulsão betuminosa sobre uma camada tratada com ligantes hidrocarbonados ou com ligantes hidráulicos, tendo em vista conseguir a sua união com uma camada betuminosa a aplicar posteriormente. [43]

- Sinalização Horizontal.
  - Marcas Transversais;
  - Marcas Longitudinais;
  - Outras Marcas.

E para terminar:

- Recepção Provisória.

A recepção provisória da obra deve ser efectuada logo que a obra esteja concluída, mediante solicitação do empreiteiro ou por iniciativa do dono da obra, tendo em conta o prazo total de execução da obra.

#### 4.1.2 Rendimento de Mão-de-Obra e Equipamento

O planeamento de uma obra requer a utilização de rendimentos. Os rendimentos podem ser obtidos da seguinte forma:

- Publicações técnicas sobre o tema, de que são exemplo as Tabelas de Paz Branco;
- A sua determinação através de manuais de empresas fornecedoras de equipamento, por exemplo, Caterpillar;
- Bases de dados das empresas, que resultam de trabalhos idênticos ao longo dos anos.

No planeamento desta obra utilizou-se maioritariamente equipas de trabalho para a realização das atividades, sendo normalmente uma agregação de equipamento e mão-de-obra, como podemos observar nas tabelas.

Os rendimentos das referidas equipas foram fornecidos por uma empresa com vasta experiência na área, que não indicou o seu método de cálculo, este mesmo que advém da realização de várias obras do género.

A título de exemplo, ilustra-se nalguns exemplos, a forma de determinação de alguns rendimentos.

Seguidamente, apresenta-se as atividades com as respetivas equipas de trabalho necessárias à sua realização, juntamente com a quantidade, duração e rendimento de trabalho.

➤ Montagem do Estaleiro e Desmontagem do Estaleiro;

Tabela 4.1- Equipa de Trabalho de Montagem do Estaleiro/Desmontagem do Estaleiro

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Diretor de Obra	1
Encarregado Geral	1
Operador de Laboratório	1
Porta-Minas	1
Técnico de Controlo de Qualidade	1
Telefonista	1
Manobrador/Condutor	4
Cisterna de Gasóleo 1000 L	1
Técnico de Higiene, Segurança e Saúde	1
Topógrafo	1
Camião Volvo FM 12 (Trator)	1
Pedreiro	1
Servente	2
Camião Mercedes 2635 c/grua	1
Retroescavadora Cat 438 C (89 cv/1m3)	1
Técnico Responsável pela Gestão Ambiental	1

Montagem:

- 11 Dias úteis;
- 15 Dias de calendário.

Desmontagem:

- 7,33 Dias úteis;
- 9 Dias de calendário

## ➤ Manutenção do Estaleiro;

Tabela 4.2- Equipa de Trabalho para Manutenção do Estaleiro

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Diretor de Obra	1
Encarregado Geral	1
Operador de Laboratório	1
Porta-Minas	1
Técnico de Controlo de Qualidade	1
Telefonista	1
Manobrador/Condutor	2
Cisterna de Gasóleo 1000 L	1
Topógrafo	1
Camião Volvo FM 12 (Trator)	1

Duração:

- 200 Dias úteis;
- 280 Dias de calendário.

## ➤ Implementação do Plano de Segurança;

Tabela 4.3- Equipa de Implementação do Plano de Segurança

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Técnico de Higiene, Segurança e Saúde	1

Duração:

- 200 Dias úteis;
- 280 Dias de calendário.

## ➤ Acompanhamento Ambiental;

Tabela 4.4- Equipa de Acompanhamento Ambiental

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Técnico Responsável pela Gestão Ambiental	1

Duração:

- 200 Dias úteis;
  - 280 Dias de calendário.
- Sinalização Temporária e Desvios de Trânsito;

Tabela 4.5- Equipa de Sinalização Temporária e Desvios de Trânsito

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Manobrador/Condutor	1
Servente	1
Carrinha de Apoio	1

Duração:

- 200 Dias úteis;
  - 280 Dias de calendário.
- Execução de ensecadeiras e realização de acessos;

Tabela 4.6- Equipa de Execução de ensecadeiras e realização de acessos

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Manobrador/Condutor	3
Escavadora Cat 330 LN	1
Camião Mercedes 2635 (13 m <sup>3</sup> )	2

Duração:

- 8,8 Dias úteis;
  - 11 Dias de calendário.
- Escavação das fundações com recurso a explosivos e transporte para vazadouro;

Tabela 4.7- Equipa de Escavações com e sem Explosivos e Transporte para Vazadouro

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Manobrador/Condutor	4

Escavadora Cat 330 LN (2,1 m <sup>3</sup> )	1
Camião Mercedes 2635 (13 m <sup>3</sup> )	2
Roc Tamrock Ranger 500	1
Técnico de Explosivos	1

Duração:

- 10,27 Dias úteis;
- 12 Dias de calendário

Quantidade:

- 1008 m<sup>3</sup>.

Rendimento:

- 98,18 m<sup>3</sup>/dia.

Através da análise do estudo geológico sabe-se que 50% da escavação terá de ser realizada com recurso a explosivos ou através da utilização de maquinaria pesada.

Adopta-se por utilizar os dois recursos para uma realização de apenas 15% da escavação com recurso a explosivos.

O mesmo estudo indica uma tipologia do solo de 50% de Terra Branda (Média/Seca) e os restantes 50% de Rocha Branda (Duro).

✓ O rendimento da realização desta atividade pode ser obtido através dos seguintes cálculos:

- Escavadora Cat 330 LN;



Figura 4.2- Escavadora Cat 330 LN [44]

A Escavadora Cat 330 LN tem um Balde com uma capacidade de 2,1 m<sup>3</sup>, utilizando a seguinte expressão obtém-se a produção da Escavadora: [2]

$$P = C \times S \times V \times B \times E \quad (4.1)$$

Sendo:

*P*- Produção expressa em volume de terras soltas;

*C*- N° de Ciclos por Hora;

*S*- Factor de Rotação-Profundidade;

*V*- Capacidade Coroada do Balde;

*B*- Factor de Enchimento do Balde,

*E*- Factor de Eficiência do Trabalho.

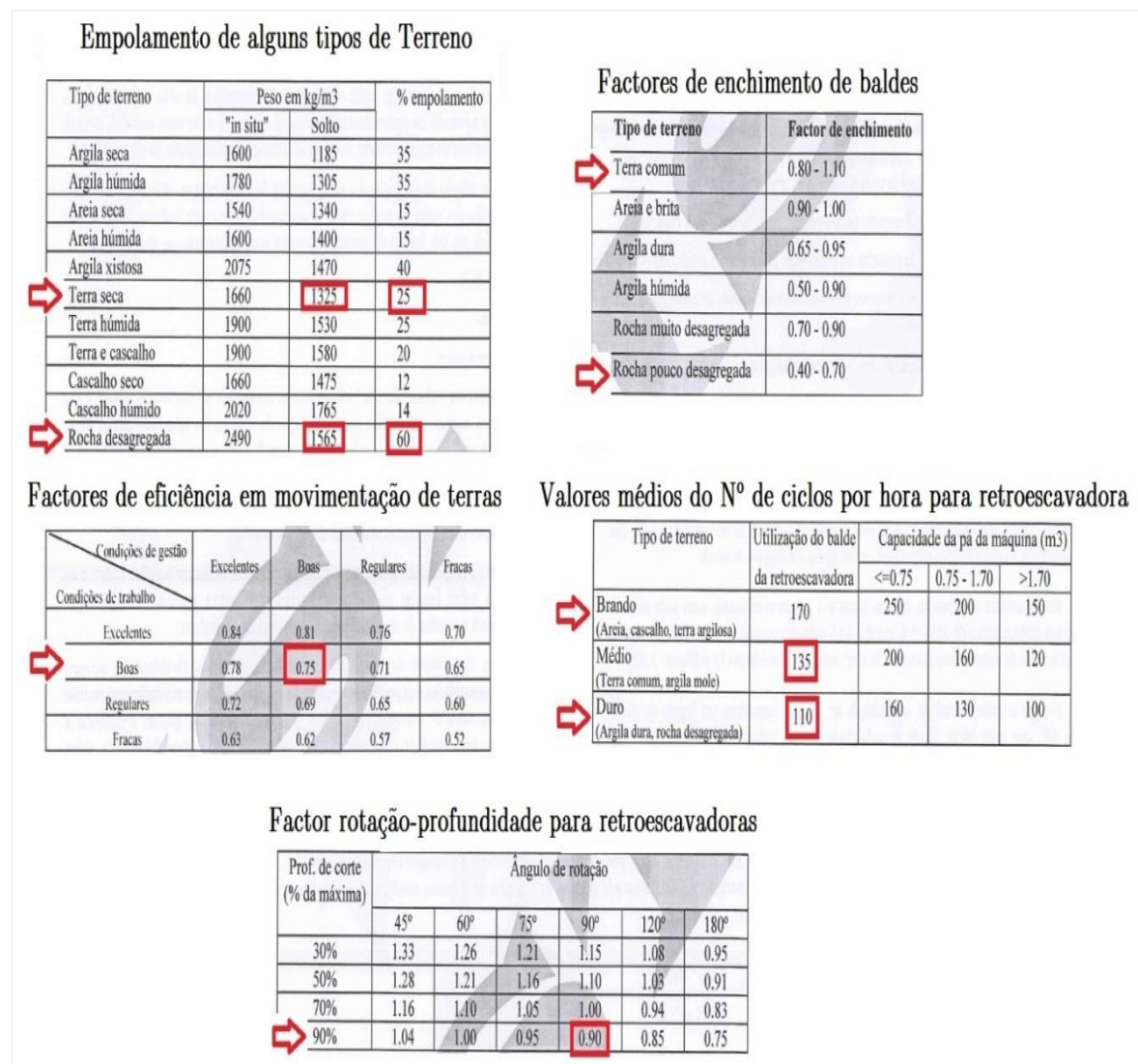


Figura 4.3- Tabelas dos Factores de uma Escavadora (adaptado de [2])

- Profundidade Média de Corte (PMC) = 1,45 m;
- Profundidade da Escavação (PE) = 1,60 m;
- Ângulo de Rotação = 90°.

$$\text{Profundidade de Corte}_{(\% \text{ da máxima})} = \frac{PMC}{PE} \quad (4.2)$$

$$\Leftrightarrow \text{Profundidade de Corte}_{(\% \text{ da máxima})} = \frac{1,45}{1,6} = 0,9 = 90\%$$

Consultando as tabelas, ver Figura 4.3, obtém-se os valores dos respectivos factores, o que leva a uma produção da Escavadora em Terra Média de:

$$P = 135 \times 0,9 \times 2,1 \times 0,9 \times 0,75 = 172,2 \text{ m}^3/\text{hora}$$

A quantidade de Terra Seca solta a ter de escavar é de:

$$Q_{\text{Terra Seca}} = Q_{\text{Escavar}} \times \text{Factor}_{\text{de Empolamento}} \quad (4.3)$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{Terra Seca}} = 504 \times 1,25 = 630 \text{ m}^3$$

Logo, o tempo necessário para a escavação de Terra Seca é de:

$$\frac{Q_{\text{m}^3}}{P_{\text{m}^3/\text{h}}} \quad (4.4)$$

$$\Leftrightarrow \frac{630}{172,2} = 3,66 \text{ horas} = \frac{3,66}{8 \text{ horas / diárias}} = 0,46 \text{ dias}$$

A produção da Escavadora em Rocha Dura é de:

$$P = 110 \times 0,9 \times 2,1 \times 0,5 \times 0,75 = 77,96 \text{ m}^3/\text{hora}$$

A quantidade de Rocha Dura solta a ter de escavar é de:

$$Q_{\text{Rocha Dura}} = (35\% \times 1008) \times 1,60 = 564,48 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

Logo, o tempo necessário para a sua escavação é de:

$$\frac{564,48}{77,96} = 7,24 \text{ horas} = \frac{7,24}{8 \text{ horas / diárias}} = 0,91 \text{ dias}$$

Assim sendo, a duração da escavação com recurso a Escavadora é de:

$$0,46_{Terra Seca} + 0,91_{Rocha Dura} = 1,37 \text{ dias} \quad (4.6)$$

- Explosivos;



Figura 4.4- Escavação com Recurso a Explosivos

A quantidade de Rocha Dura a ter de escavar é de:

$$Q_{Rocha Dura} = 15\% \times 1008 = 151,2 \text{ m}^3$$

Admitindo que a profundidade média a escavar com recurso a explosivos é de 0,8 metros, consultando a Figura 4.5 obtém-se que a escavação com recurso a explosivos e a sua remoção, tem uma duração de:

$$Q_{Escavar} \times Factor_{Corpo A} \times Factor_{Corpo B} \quad (4.7)$$

$$\leftrightarrow 151,2 \times 0,68 \times 0,63 = 64,78 \text{ Homens} \times \text{hora} (H \times h)$$

$$\leftrightarrow \frac{64,78 \text{ H} \times h}{1 \text{ H} \times 8 \text{ h / diárias}} = 8,1 \text{ dias}$$

CORPO A		Terra								Rocha		
Factores solo-meios		Pantanososa	Solta	Branda	Semi-rija	Rija	Rija com pedras	Compac-tada	Branda	Semi-rija	Rija	
C/explosivo	Perfur. braçal	—	—	—	—	—	—	—	1,35	6,00	10,5	
	Perfur. mecânica	—	—	—	—	—	—	—	0,68	2,28	3,54	
Classe do trabalho	Largura m	Altura m										
Escavação em trincheiras e regularização de plataformas	além de 2,00	0,30	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,50	1,05	1,15
		0,60	1,10	1,10	1,10	1,10	1,05	1,05	1,05	0,50	1,05	1,10
		0,90	1,05	1,05	1,05	1,05	1,00	1,00	1,00	0,70	1,05	1,10
		1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00
		1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		3,00	1,25	1,20	1,07	1,05	1,05	1,05	1,05	1,10	1,05	1,05
		4,50	—	1,50	1,40	1,30	1,30	1,30	1,30	1,25	1,15	1,10

Figura 4.5- Tabela para Escavação com Recurso a Explosivos (adaptado de [1])

- Transporte;



Figura 4.6- Camião Mercedes 2635 (13 m³) [45]

Considerando que o local de depósito das Terras se encontra a 2 Km de distância, utilizando as tabelas de Paz Branco [1], ver Figura 4.7, obtém-se uma duração de transporte de:

$$\begin{aligned}
 & 630 \text{ m}^3 \text{ Terra Seca} \times 1325 \text{ Kg/m}^3 = 834750 \text{ Kg} & (4.8) \\
 & + \\
 & 806,4 \text{ m}^3 \text{ Rocha Dura} \times 1565 \text{ Kg/m}^3 = 1262016 \text{ Kg} \\
 & = \\
 & 2096766 \text{ Kg} = 2096,766 \text{ t}
 \end{aligned}$$

$$Q_{Ton} \times Factor_{Transporte} \tag{4.9}$$

$$\leftrightarrow 2096,766 \times 0,07 = 146,774 H \times h = \frac{146,774 H \times h}{2 H \times 8 h / diárias} = 9,18 dias$$


Meio de transporte	1 Sentido, só ida 2 Sentidos ida, + volta vazio	Distância do transporte (m)									
		30	60	90	180	500	1000	2000	5000	10000	
Camião basculante 	1 Sentido	—	—	—	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,14	
	2 Sentidos	—	—	—	0,02	0,02	0,03	0,07	0,12	0,25	

Figura 4.7- Tabela para Transporte (adaptado de [1])

Uma vez que a duração do transporte é a condicionante e que o recurso de explosivos ocorre durante o transporte, a duração total da atividade pode ser obtida da seguinte forma:

$$9,18_{Transporte} + 1,37_{Escavadora} = 10,55 dias$$

Dando origem a um rendimento de:

$$\frac{1008 m^3}{10,55 dias} = 95,55 m^3/dia$$

O valor do rendimento fornecido pela empresa é de 98,18 m<sup>3</sup>/dia que é muito próximo do calculado. Observe-se que as Tabelas de Paz Branco são tabelas com valores conservadores, ou seja, desde a sua data de publicação os processos construtivos das empresas têm vindo a ser melhorados, facto que pode explicar a ligeira diferença obtida.

➤ Aterro junto a estruturas;

Tabela 4.8- Equipa de Aterro junto à Estrutura

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Manobrador/Condutor	6
Retroescavadora Cat 438 C (89 cv/1m <sup>3</sup> )	1

Camião Mercedes 2635 (13 m <sup>3</sup> )	2
Cilindro Misto Cat 12 G	1
Cisterna de Água Reboal 4000 L	1
Trator Agrícola Deutz	1

Duração:

- 16,13 Dias úteis;
- 22 Dias de calendário.

Quantidade:

- 2069 m<sup>3</sup>.

Rendimento:

- 128,24 m<sup>3</sup>/dia.

➤ Fundações (Betão Armado);

Tabela 4.9- Equipa de Execução de Fundações em Betão Armado

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Carpinteiro de Cofragens	8
Armador de Ferro	4
Autobetoneira (6 m <sup>3</sup> )	4
Bomba de Betão Móvel	1
Agulha Vibradora (Betão)	2
Manobrador/Condutor	6
Equipamento de Cofragem	1
Equipamento de Corte e Dobragem de Ferro	1
Servente	6
Auto-Grua de 20/25 t.	1

Duração:

- 29,33 Dias úteis;
- 39 Dias de calendário.

Quantidade:

- 101 m<sup>3</sup>.

Rendimento:

- 3,44 m<sup>3</sup>/dia.

✓ O rendimento da realização desta atividade pode ser obtido através dos seguintes cálculos:

- Cofragem (Sapatas);



Figura 4.8- Execução de Cofragens [46]

No cálculo da duração da realização da Cofragem das Sapatas, dimensiona-se a área de cofragem a executar.

$$\text{Área}_{\text{cofragem}} = 4 \times (1,6 \times (7 + 4,5)) = 73,6 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

Recorrendo às Tabelas de Paz Branco [1], ver Figura 4.9, e usando as seguintes expressões, calcula-se a sua duração.

$$\begin{aligned} & \text{Área}_{\text{cofragem}} \times \text{Factor}_{\text{cofragem}} & (4.11) \\ \Leftrightarrow & 73,6 \times (2,7 + 0,45) = 231,84 \text{ H} \times \text{h} \end{aligned}$$

Sabendo que a equipa é constituída por 8 Homens e que trabalham 8 horas diárias, a realização da cofragem têm uma duração de:

$$\frac{231,84 \text{ H} \times \text{h}}{8 \text{ H} \times 8 \text{ h} / \text{diárias}} = 3,62 \text{ dias}$$

H x h/m <sup>2</sup> de Cofragem										
OBRA										
Operações consideradas: Montagem, desmontagem limpeza e reparações										
Tradicional (corrente)					↓	Tradicional melhorada				
Utilizações admissíveis					↓	Utilizações admissíveis				
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	4. <sup>a</sup>	5. <sup>a</sup>	Fabrico de taipais	1. <sup>a</sup> à 5. <sup>a</sup>	6. <sup>a</sup> à 10. <sup>a</sup>	11. <sup>a</sup> à 13. <sup>a</sup>	14. <sup>a</sup> à 17. <sup>a</sup>
→ Sapatas (médias)	0,90	0,75	0,90	1,10	1,30	2,70	0,45	0,65	0,90	1,20
Muros de suporte	1,20	1,00	1,20	1,40	1,80	2,70	0,60	0,80	1,05	1,35
Paredes	1,30	1,10	1,30	1,50	1,90	3,45	0,70	0,90	1,15	1,45
Cortinas e cimalthas	1,65	1,55	1,65	2,10	2,40	4,20	0,95	1,05	1,30	1,60

Figura 4.9- Tabela para Cofragens Tradicionais (adaptado de [1])

- Armaduras;



Figura 4.10- Execução das Armaduras [47]

Para a determinação da duração da execução e colocação das armaduras é necessário determinar o Peso da Armadura Total das Sapatas. Não dispondo dessa informação, adoptou-se como sendo aproximadamente igual a 80 Kg/m<sup>3</sup> de Betão, valor adoptado dos Critérios de Medição [32], o que origina um Peso de Armadura Total nas Sapatas de:

$$80 \text{ Kg/m}^3 \times 101\text{m}^3 = 8080 \text{ Kg de Armadura} \quad (4.12)$$

Utilizando as Tabelas de Paz Branco, ver Figura 4.11, calcula-se a sua duração. Não dispondo da informação das armaduras é necessário realizar uma média dos valores da tabela. Admitindo que não se usa varões inferiores a 8 mm, a média do Factor<sub>Corte e Dobragem</sub> e do Factor<sub>Amarração e Aplicação</sub> é de:

$$\text{Factor}_{\text{Corte e Dobragem}} = \frac{0,532 + 0,504 + 0,476 + 0,448 + 0,420 + 0,392 + 0,364}{7} \quad (4.13)$$

$$= 0,448 H \times h / 10 \text{ Kg}$$

$$\text{Factor}_{\text{Amar./ Aplicação}} = \frac{0,462 + 0,445 + 0,424 + 0,403 + 0,382 + 0,363 + 0,345}{7} \quad (4.14)$$

$$= 0,403 H \times h / 10 \text{ Kg}$$

Armaduras para betão																
H × h para corte, dobragem, armação e aplicação em obra de 10 kg de varão																
Diâmetros em mm																
Obra de betão	Corte e dobragem								Armação e aplicação							
	6	8	10	12	16	20	25	32	6	8	10	12	16	20	25	32
Maçãos e pegões	0,590	0,560	0,531	0,501	0,472	0,442	0,413	0,368	0,460	0,438	0,418	0,399	0,379	0,360	0,342	0,325
Sapatas	0,560	0,532	0,504	0,476	0,448	0,420	0,392	0,364	0,477	0,462	0,445	0,424	0,403	0,382	0,363	0,345
Massames	0,355	0,315	—	—	—	—	—	—	0,416	0,389	—	—	—	—	—	—
Muros de suporte	0,355	0,315	0,310	0,362	0,414	0,355	0,315	0,283	0,416	0,389	0,369	0,351	0,333	0,316	0,300	0,286

Figura 4.11- Tabela para Armaduras (adaptado de [1])

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Corte e Dobragem}} \quad (4.15)$$

$$\leftrightarrow \frac{8080}{10} \times 0,448 = 361,98 H \times h$$

Segundo Paz Branco [1], para aplicação de aço A40, deverão agravar-se os tempos para corte e dobragem com 30%.

$$361,98 \times 1,30 = 470,58 H \times h \quad (4.16)$$

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Amarração e Aplicação}} \quad (4.17)$$

$$\leftrightarrow \frac{8080}{10} \times 0,403 = 325,62 \text{ H} \times h$$

Sabendo que a equipa é constituída por 4 Armadores e que trabalham 8 horas diárias, a realização das cofragens têm uma duração de:

$$\frac{470,58 \text{ H} \times h + 325,62 \text{ H} \times h}{4 \text{ H} \times 8 \text{ h} / \text{diárias}} = 24,88 \text{ dias}$$

- Auto-Grua;

A colocação da armadura e da cofragem, no local da sua aplicação, é efectuada com o auxílio de uma Auto-Grua, ver Figura 4.12, onde ocorre a sua elevação a 5 metros de altura, com um deslocamento da Grua de 150 metros, uma extensão do braço da Grua de 10 metros e a descida do guincho de 6,6 metros.



Figura 4.12- Auto-Grua [48]

Com auxílio das Tabelas de Paz Branco, ver Figura 4.13, obtém-se:

$$a = \text{Elevação}_{\text{metros}} \times \text{Factor } a_{\text{Grua}} \quad (4.18)$$

$$\leftrightarrow a = 5 \times 0,02 = 0,1 \text{ H} \times h/t$$

$$b = \text{Translação (Braço)}_{\text{metros}} \times \text{Factor } b_{\text{Grua}} \quad (4.19)$$

$$\leftrightarrow b = 10 \times 0,016 = 0,16 H \times h/t$$

$$d = \text{Translação}_{\text{metros}} \times \text{Factor } d_{\text{Grua}} \quad (4.20)$$

$$\leftrightarrow d = 150 \times 0,005 = 0,75 H \times h/t$$

$$e = \text{Descida}_{\text{metros}} \times \text{Factor } e_{\text{Grua}} \quad (4.21)$$

$$\leftrightarrow e = 6,6 \times 0,016 = 0,11 H \times h/t$$

$$\text{Factor}_{\text{Grua}} = a + b + d + e \quad (4.22)$$

$$= 0,1 + 0,16 + 0,75 + 0,11 = 1,12 H \times h/t$$


Considera-se apenas o peso total da armadura, uma vez que a execução e colocação da cofragem pode realizar-se durante a execução das armaduras. Assim sendo, o peso total das armaduras em t (Toneladas) para as Sapatas é de:

$$\frac{101 \times 80}{1000} = 8,08 t \quad (4.23)$$

Sabendo que são 8 horas diárias de trabalho, traduz-se em:

$$\frac{1,12 \times 8,08}{8 \text{ h / diárias}} = 1,13 \text{ dias}$$

*H × h para elevação e/ou translação de uma tonelada de materiais e metro de deslocação*



Meios, Dispositivos	Acessórios dos dispositivos ou características	Condições				
		Elevação	Translação combinada	Translação sequente	Translação sequente da grua	Descida
		a	ab	b	d	e
Grua torre sobre pneus	Guincho	0,02	—	—	—	—
	Guincho + Charriot	0,02	0,024	0,024	—	—
	Guincho + Charriot + Guincho	0,02	0,02	0,016	—	0,016
	Guincho + Carro + Charriot	0,02	0,02	0,016	0,005	—
	Guincho + Carro + Guincho	0,02	—	—	0,005	0,016
	Guincho + Carro + Char. + Guincho	0,02	0,02	0,016	0,005	0,016
	Guincho + Charriot	0,02	0,02	0,016	—	—

Figura 4.13- Tabela para utilização de Gruas (adaptado de [1])

- Betão;

Fazendo uso das Tabelas de Paz Branco, determina-se as durações da execução do Betão, da sua colocação no local de Aplicação, Espalhamento e Compactação.



Figura 4.14- Execução, Colocação, Espalhamento e Compactação do Betão

Sabendo que se dispõem de 4 Autobetoneiras, ver Figura 4.15, a execução da argamassa tem uma duração de:

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Execução}}{H \times h / \text{diárias}} \quad (4.24)$$

$$\leftrightarrow 101 \text{ m}^3 \times \frac{0,32}{2 \times 8} = 2,02 \text{ dias}$$


Execução de argamassas e betão						
H × h/m <sup>3</sup> de produto						
Sistema de amassadura	Equipa	Tipos de massas				
		2 aglomerantes + 2 inertes	2 aglomerantes + 1 inerte	1 aglomerante + 1 inerte	1 aglomerante + 2 inertes	1 aglomerante + 3 inertes
Manual	4	9,04	8,60	8,45	8,60	9,04
Betoneira sem tremonha	6	3,63	3,30	3,30	3,46	3,63
Corpo I Betoneira com tremonha	6	2,86	2,60	2,60	2,73	2,86
Betoneira semiautomática	3	0,65	0,65	0,55	0,55	0,55
 Betoneira automática	2	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

Figura 4.15- Tabela para Execução de Betão (adaptado de [1])

Para a colocação do Betão a uma distância média de 24 metros do local de aplicação utiliza-se uma Bomba de Betão Móvel, ver Figura 4.16.

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Colocação no Local}}{H \times h} \quad (4.25)$$

$$\Leftrightarrow 101 \text{ m}^3 \times \frac{0,06}{1 H \times 8 h / \text{diárias}} = 0,76 \text{ dias}$$

Meios	Transporte vertical (m)										+ Horizontal (m)		
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	10	20	30
A braço	0,68	1,35	2,03	2,70	3,38	—	—	—	—	—	0,38	0,67	1,02
Corpo 2 Guincho c/charriot de 3 m	0,210	0,420	0,630	0,840	1,050	1,26	1,37	1,68	1,89	2,10	0,27	0,62	0,97
Grua com lança de 30 m	0,025	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25	0,07	0,12	0,17
Bomba de betão	0,03	0,03	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,06	0,075	—	Incluídas		

Figura 4.16- Tabela para Colocação do Betão no Local (adaptado de [1])

No espalhamento e compactação, ver Figura 4.17, utiliza-se os 6 Serventes da equipa de trabalho.

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Espalhamento e Compactação}}{H \times h} \quad (4.26)$$

$$\Leftrightarrow 101 \text{ m}^3 \times \frac{0,87}{6 H \times 8 h / \text{diárias}} = 1,84 \text{ dias}$$

A OBRA Elementos a betonar	O BETÃO Consistência				Observações
	Seco	Normal			
		Plástico	Fluido		
Maciços e pegões	0,85	0,72	0,67	0,60	Neste grupo de trabalhos deverá contar-se com 20% de mão-de-obra especializada
Sapatas	0,95	0,87	0,80	0,72	
Massames	1,20	1,10	1,00	0,90	
Muros de suporte	1,05	0,96	0,87	0,75	
Paredes grossas	1,15	1,05	0,95	0,85	

Figura 4.17- Tabela para Aplicação do Betão (adaptado de [1])

O somatório destas parcelas dá-nos a duração do “Betão”:

$$2,02_{\text{Execução}} + 0,76_{\text{Colocação no Local}} + 1,84_{\text{Esp.Compactação}} = 4,62 \text{ dias} \quad (4.27)$$

Tendo em consideração a ordem de execução e da realização em simultâneo das tarefas, a duração da atividade é de:

$$\begin{aligned} & \text{Armaduras} + \text{Grua} + \text{Betão} \quad (4.28) \\ \leftrightarrow & 24,88 + 1,13 + 4,62 = 30,63 \text{ dias} \end{aligned}$$

Dando origem a um rendimento de:

$$\frac{101 \text{ m}^3}{30,63 \text{ dias}} = 3,30 \text{ m}^3/\text{dia}$$

O valor do rendimento fornecido pela empresa é de 3,44 m<sup>3</sup>/dia, que é muito próximo do calculado, devendo-se esta diferença não só às razões referidas anteriormente mas também ao facto de não termos o rendimento da Auto-Grua, tendo sido adaptado das Tabelas de Paz Branco [1].

➤ Pilares e Encontros (Betão Armado) /Aparelhos de Apoio;

Tabela 4.10- Equipa de Execução de Pilares e Aparelhos de Apoio

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Carpinteiro de Cofragens	12
Armador de Ferro	12
Autobetoneira (6 m <sup>3</sup> )	4
Bomba de Betão Móvel	1
Agulha Vibradora (Betão)	2
Manobrador/Condutor	6
Equipamento de Cofragem	1
Equipamento de Corte e Dobragem de Ferro	1
Servente	6
Auto-Grua de 20/25 Ton.	1

Betão Armado:

- 40,33 Dias úteis;
- 56 Dias de calendário.

Quantidade:

- 579 m<sup>3</sup>.

Rendimento:

- 14,36 m<sup>3</sup>/dia.

Aparelhos de Apoio:

- 3,6 Dias úteis;
- 4 Dias de calendário.

Quantidade:

- 4 unid.

Rendimento:

- 0,91 unid/dia.

➤ Tabuleiro (Betão armado e pré-esforçado);

Tabela 4.11- Equipa de Execução do Tabuleiro em Betão Armado e Pré-Esforçado

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Carpinteiro de Cofragens	6
Armador de Ferro	6
Autobetoneira (6 m <sup>3</sup> )	4
Bomba de Betão Móvel	1
Agulha Vibradora (Betão)	2
Manobrador/Conductor	6
Equipamento de Cofragem	1
Equipamento de Corte e Dobragem de Ferro	1
Máquina de Enfiamento e Corte de Cabos de Aço	1
Montador de Pré-Esforço	2
Servente	6
Macacos de Pré-esforço	1
Equipamento de Escoramento	1
Central de Injeção de Caldas Cimentícias UNIGROUT 200/100	1
Auto-Grua de 20/25 Ton.	1

Duração:

- 73,33 Dias úteis;
- 103 Dias de calendário.

Quantidade:

- 667 m<sup>3</sup>.

Rendimento:

- 9,1 m<sup>3</sup>/dia.

## ➤ Acabamentos;

Tabela 4.12- Equipa de Acabamentos

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Montador de Tubos	2
Serralheiro	1
Pedreiro	4
Servente	8
Carrinha de Apoio	1
Autobetoneira Terex Mariner	1
Manobrador/Condutor	4
Armador de Ferro	2
Carpinteiro de Cofragens	2
Equipamento de Cofragem	1
Mini Pá Carregadora Bobcat	1
Equipamento de Corte e dobragem de Ferro	1
Camião Mercedes 2635 c/grua	1
Eletricista	2

Juntas de Dilatação:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

## Quantidade:

- 28 m.

## Rendimento:

- 1,41 m/dia.

Passeios:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

## Quantidade:

- 1 vg.

Drenagem:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

## Quantidade:

- 1 vg<sup>4</sup>.

## Rendimento:

- 0,05 vg/dia.

Guarda-Corpos:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

## Quantidade:

- 187 m.

---

<sup>4</sup> vg- Valor Global, designação atribuída quando não se sabe a Quantidade a realizar.

Rendimento:

- 0,05 vg/dia.

Infraestruturas Elétricas:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

Quantidade:

- 1 vg.

Rendimento:

- 0,05 vg/dia.

Rendimento:

- 9,11 m/dia.

Reconstrução de muros em pedra irregular:

- 20,53 Dias úteis;
- 29 Dias de calendário.

Quantidade:

- 1 vg.

Rendimento:

- 0,05 vg/dia.

➤ Pavimentação (Camadas Betuminosas);

Tabela 4.13- Equipa de Pavimentação (Camadas Betuminosas)

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Cilindro de Rolos Dynapac CC 21	1
Cilindro de Pneus Dynapac CP 271	1
Manobrador/Condutor	6
Espalhador de Betuminoso	6
Espalhadora Vogele Super 1400-RST	1
Camião Volvo FM 12 (15 m <sup>3</sup> )	3

Cam./Regul. em Macadame Betuminoso:

- 0,147 Dias úteis;
- 0,15 Dias de calendário.

Quantidade:

- 87,98 t.

Rendimento:

- 598,5 t/dia.

Cam./Lig. em Macadame Betu. c/ 0,07m:

- 0,170 Dias úteis;
- 0,170 Dias de calendário.

Quantidade:

- 765 m<sup>2</sup>.

Rendimento:

- 4500 m<sup>2</sup>/dia.

Cam. Desgaste em Betão Betu. com 0,05m:

- 0,147 Dias úteis;
- 0,15 Dias de calendário.

Quantidade:

- 765 m<sup>2</sup>.

Rendimento:

- 5204,35 m<sup>2</sup>/dia.

✓ O rendimento da realização da Pavimentação da Camada de Regularização em Macadame Betuminoso, pode ser obtido através dos seguintes cálculos:

- Espalhadora Voegle Super 1400-RST;

<b>SUPER 1400</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largura de Pavimentação: 2,0 a 4,75 m</li> <li>• Rendimento Máximo de Espalhamento: 300 t/h</li> <li>• Potência do Motor: 51,5 kW (70 CV) a 2500 rpm</li> </ul>
	<p>A SUPER 1400 é ideal para a construção de estradas urbanas e de todos os trabalhos que, mais que rendimento, requerem pavimentos de alta qualidade. Também pode deslocar-se sobre solos não estabilizados.</p>

Figura 4.18- Espalhadora VÖGELE SUPER 1400 (adaptado de [49])

O rendimento máximo da Espalhadora Voegle Super 1400-RST é de 300 t/h, conforme a Figura 4.18. Mas, recorrendo a uma empresa do ramo, é prática usual utilizar o rendimento médio, 150 t/h, para a elaboração do planeamento, contabilizando assim os tempos de carregamento da Espalhadora e a mudança de faixa de rodagem.

Com base nessa informação, obtém-se o tempo necessário para a Espalhadora executar a Camada de Regularização é de:

$$\frac{Q. \text{ Camada de Regularização } t}{\text{Rend. Espalhadora } t/h} \quad (4.29)$$

$$\leftrightarrow \frac{87,98 t}{150 t/h} = 0,587 h = \frac{0,587 h}{8 h / \text{diárias}} = 0,0734 \text{ dias}$$

- Cilindros Dynapac;



Figura 4.19- Cilindro de Rolos Dynapac CC 21 e Cilindro de Pneus Dynapac CP 271

A Figura 4.20 apresenta o gráfico de rendimento do Cilindro de Rolos Dynapac CC 21, em função da espessura da camada a compactar e do número de passagens.

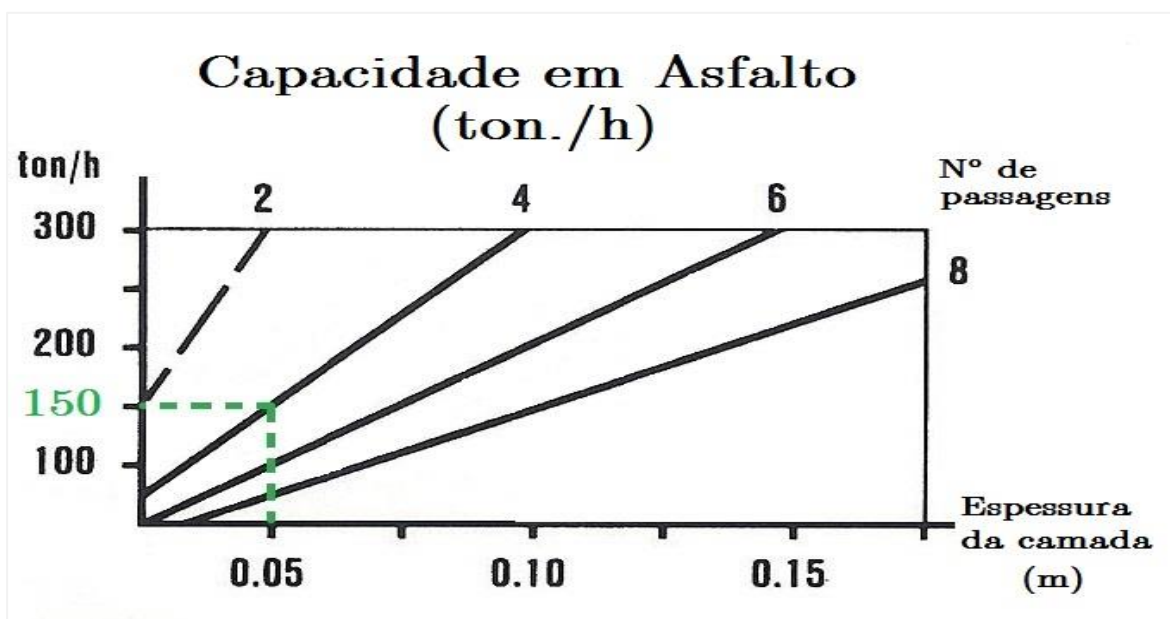


Figura 4.20- Gráfico de Rendimento do Cilindro Dynapac CC 21 (adaptado de [50])

Sabe-se que a espessura da camada de regularização é de 0,05 metros e que o número de passagens a realizar é de 4 (o número de passagens adequado para compactação de asfalto varia entre 4 e 6 passagens [50]), o rendimento do Cilindro de Rolos Dynapac CC 21 é de aproximadamente 150 t/h.

Logo, o tempo necessário para a compactação é de:

$$\frac{Q. \text{Camada de Regularização } t}{\text{Rend. Cilindro CC 21 } t/h} \quad (4.30)$$

$$\leftrightarrow \frac{87,98 t}{150 t/h} = 0,587 h = \frac{0,587 h}{8 h / \text{diárias}} = 0,0734 \text{ dias}$$

A compactação das camadas são executadas com dois tipos de cilindros, o Cilindro de Pneus Dynapac CP 271 dispõe igualmente de um gráfico para a determinação do seu rendimento, como demonstra a Figura 4.21.

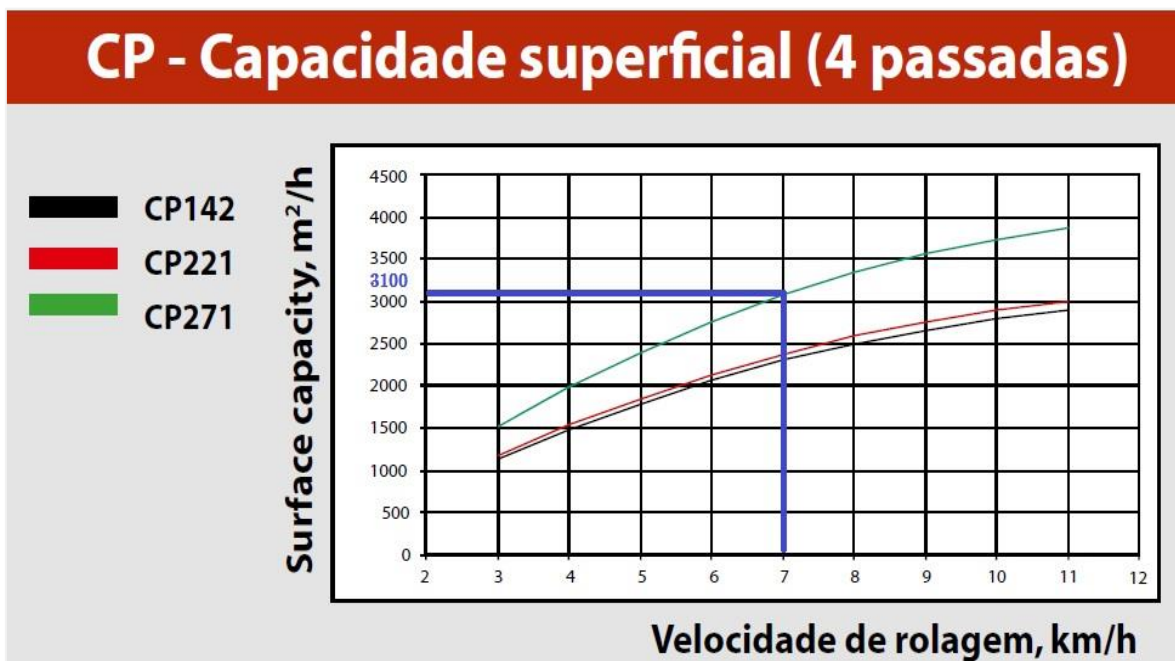


Figura 4.21- Gráfico de Rendimento do Cilindro de Pneus CP 271 (adaptado de [51])

A velocidade de compactação adequada para asfalto varia entre 3 e 7 km/h. [50]

Analisando o gráfico da Figura 4.21 e adoptando uma velocidade de 7 km/h, obtém-se um rendimento de aproximadamente 3100 m²/h.

Sabendo que a área a compactar é de 765 m<sup>2</sup>, o tempo necessário para o Cilindro de Pneus Dynapac CP 271 executar a compactação desta camada é de:

$$\frac{Q. \text{ Camada de Regularização } m^2}{Rend. \text{ Cilindro CP 271 } m^2/h} \quad (4.31)$$

$$\leftrightarrow \frac{765 m^2}{3100 m^2/h} = 0,247 h = \frac{0,247 h}{8 h / \text{diárias}} = 0,031 \text{ dias}$$

Tendo em conta a área a pavimentar, considera-se que o tempo necessário para a realização desta tarefa é de:

$$Tempo_{da \text{ Espalhadora}} + Tempo_{do \text{ Cilindro CC 21}} \quad (4.32)$$

$$0,0734 \text{ dias} + 0,0734 \text{ dias} = 0,147 \text{ dias}$$

Contabiliza-se apenas o tempo do Cilindro de Rolos Dynapac CC 21 pois, assumindo que iniciam os trabalhos ao mesmo tempo, o seu tempo de compactação em relação ao tempo do Cilindro de Pneus Dynapac CP 271 é o condicionante.

Dando origem a um rendimento de:

$$\frac{87,98 t}{0,147 \text{ dias}} = 598,5 t/dia$$

➤ Regas Betuminosas;

Tabela 4.14- Equipa de Regas Betuminosas

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Auto-Cisterna Lebrero 8000 L	1
Manobrador/Condutor	2
Trator Agrícola Deutz	1
Vassoura Mecânica	1

Rega de impregnação betuminosa:

- 0,0347 Dias úteis;
- 0,03 Dias de calendário.

Rega de colagem 1 e 2:

- 0,007 Dias úteis;
- 0,01 Dias de calendário.

Quantidade:

- 765 m<sup>2</sup>.

Rendimento:

- 22046,1 m<sup>2</sup>/dia.

Quantidade:

- 765 m<sup>2</sup>.

Rendimento:

- 108000 m<sup>2</sup>/dia.

➤ Sinalização Horizontal;

Tabela 4.15- Equipa de Sinalização Horizontal

Elementos da Equipa:	Quantidade:
Camião de Pinturas	1
Manobrador/Condutor	2
Máquina de Pintura Pavimento Linelazer	1
Servente	4

Marcas Longitudinais:

- 1,76 Dias úteis;
- 2 Dias de calendário.

Quantidade:

- 255 m.

Rendimento:

- 144,55 m/dia

Outras Marcas:

- 1,76 Dias úteis;
- 2 Dias de calendário.

Quantidade:

- 2 unid.

Rendimento:

- 1,14 unid/dia.

Marcas Transversais:

- 1,76 Dias úteis;
- 2 Dias de calendário.

Quantidade:

- 4,6 m<sup>2</sup>.

Rendimento:

- 2,61 m<sup>2</sup>/dia.

## 4.2 Planeamento da Obra utilizando Microsoft Project

Na atualidade o planeamento de qualquer projeto é efectuado com recurso a software, como, por exemplo, os referidos no capítulo anterior. O projeto em estudo, uma Ponte, utiliza o Project para o seu planeamento.

Ao iniciar o planeamento no Project, define-se as informações relevantes do projeto como o nome do projeto, ver Figura 4.22, o calendário de trabalho e a data prevista para o início dos trabalhos.

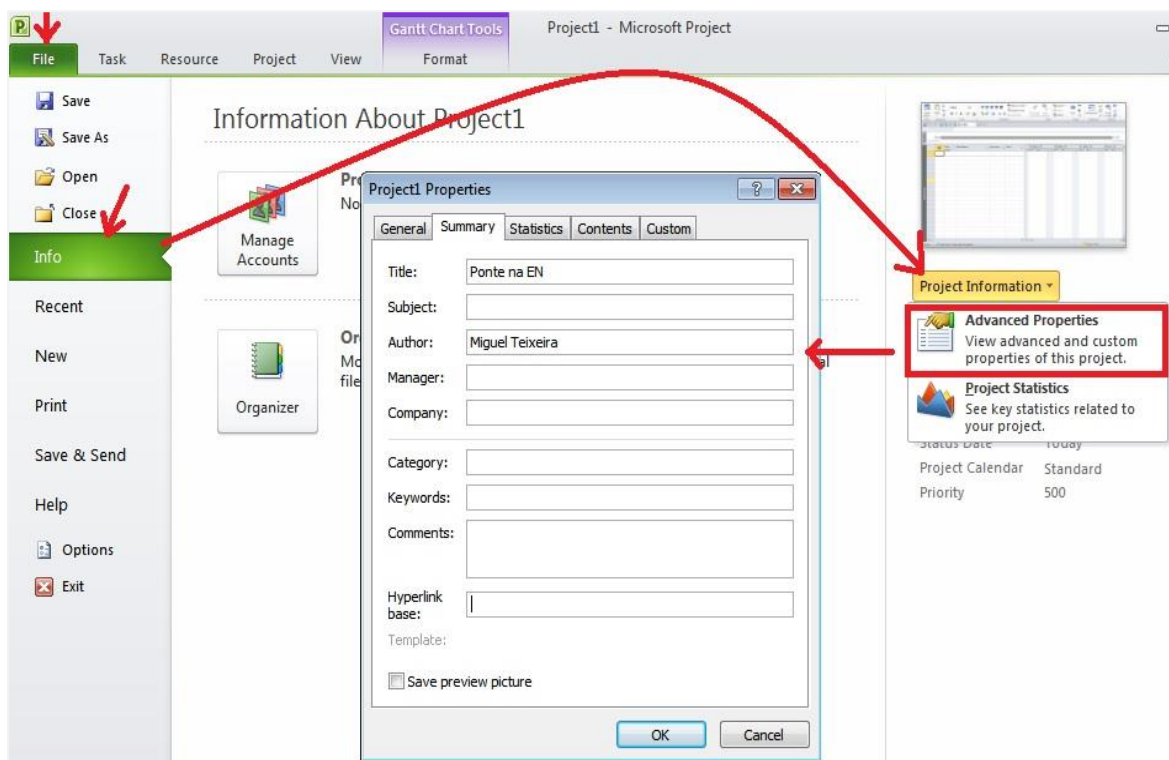


Figura 4.22- Atribuição do Nome do Projeto

No Project define-se o calendário, efetuando os seguintes passos:

- Project > Project Information > Start date > Calendar;

Através destes passos define-se a data de início dos trabalhos e o Calendário a adoptar.

No projeto em estudo adoptou-se o calendário Standard e o dia 2 de setembro de 2013 para iniciar os trabalhos, como demonstra a Figura 4.23.

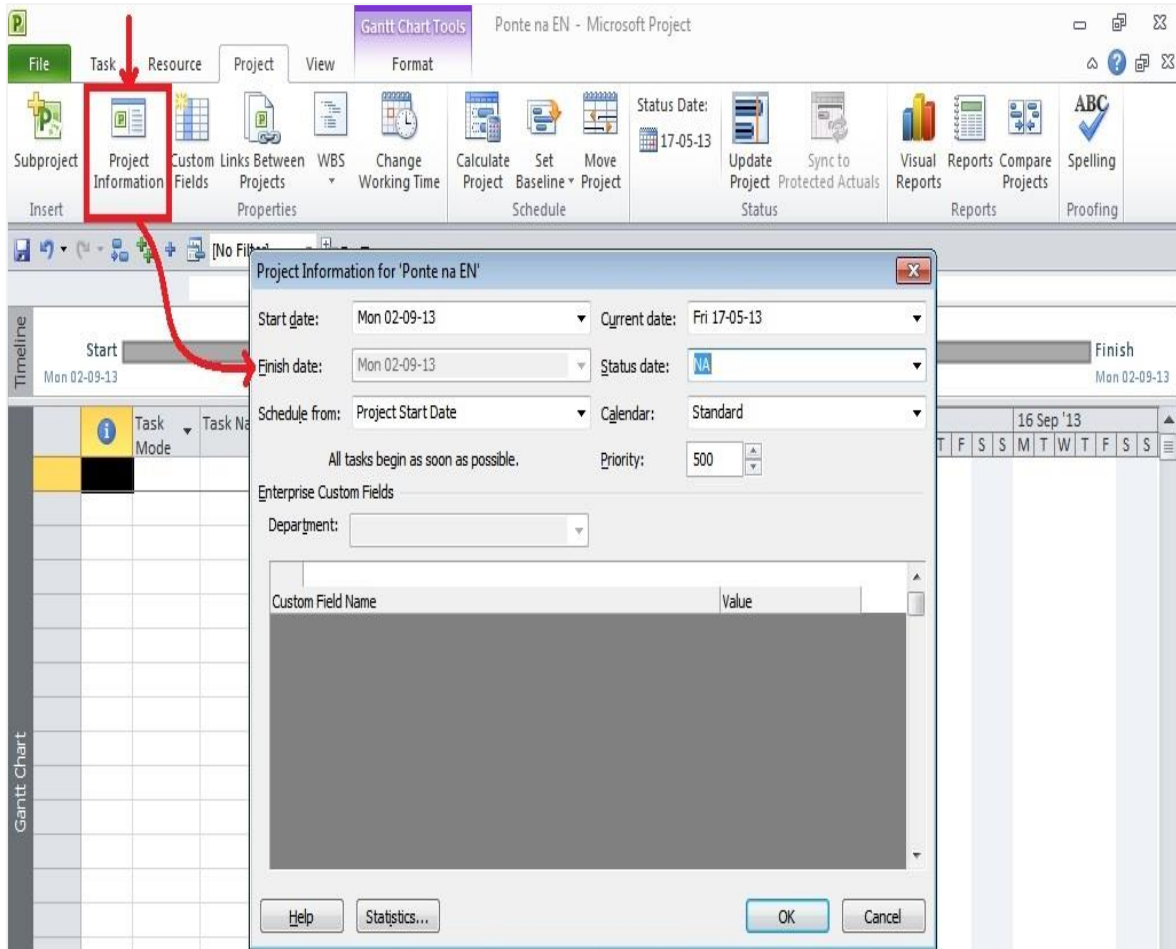


Figura 4.23- Definição da Data de Início do Projeto no Project

- Project > Change Working Time > For calendar > Options.

O Project permite neste campo definir o dia da semana que se inicia os trabalhos, o número de horas diárias de trabalho, o número de dias de trabalho mensal, ver Figura 4.24, entre várias opções.

O calendário do projeto de estudo, contém as seguintes características:

- 5 dias de trabalho por semana;
- 20 dias de trabalho mensal;
- 8 horas diárias de trabalho;
- Segunda-Feira dia de início semanal de trabalho.

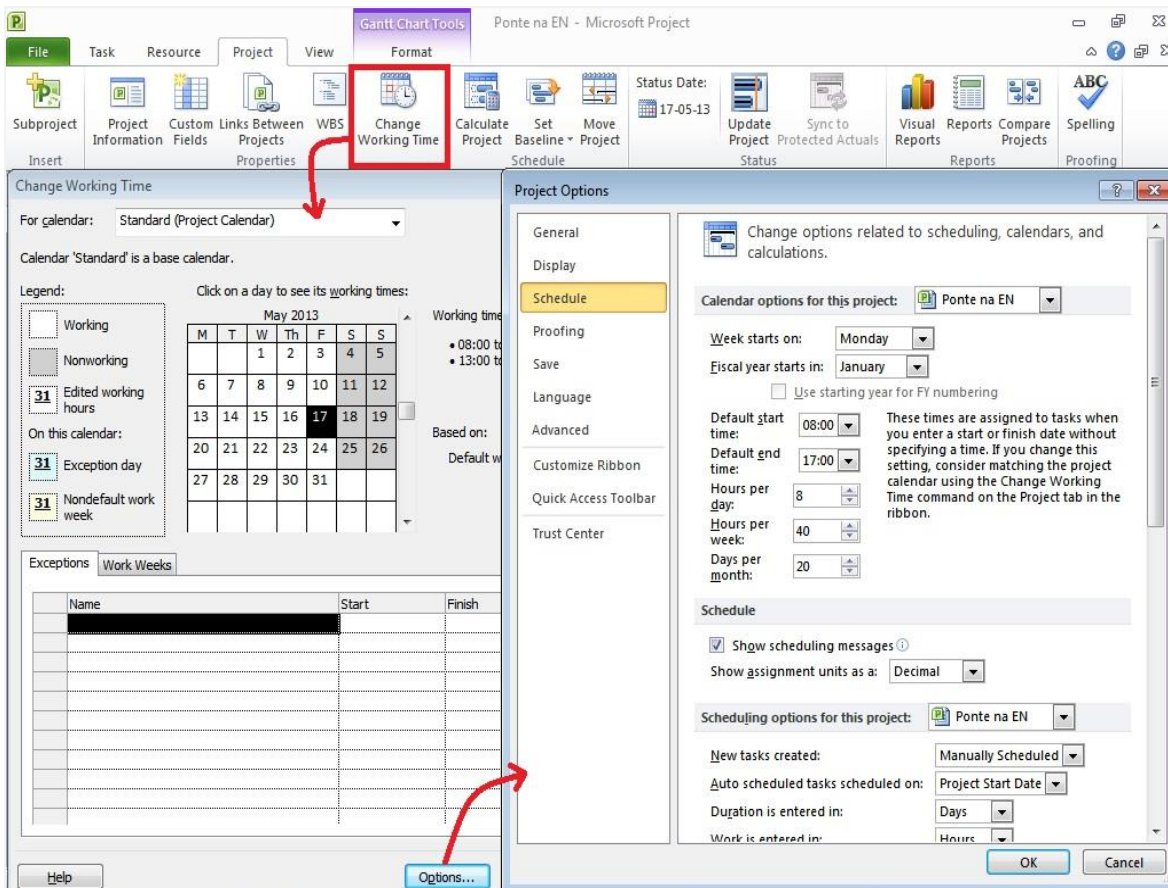


Figura 4.24- Definição do Calendário de Trabalho no Project

Definido o calendário, descreve-se as atividades do projeto com as suas respectivas durações, precedências e recursos necessários para a sua execução, como demonstra a Figura 4.25 (ver mais pormenorizado em Anexo 4.1).

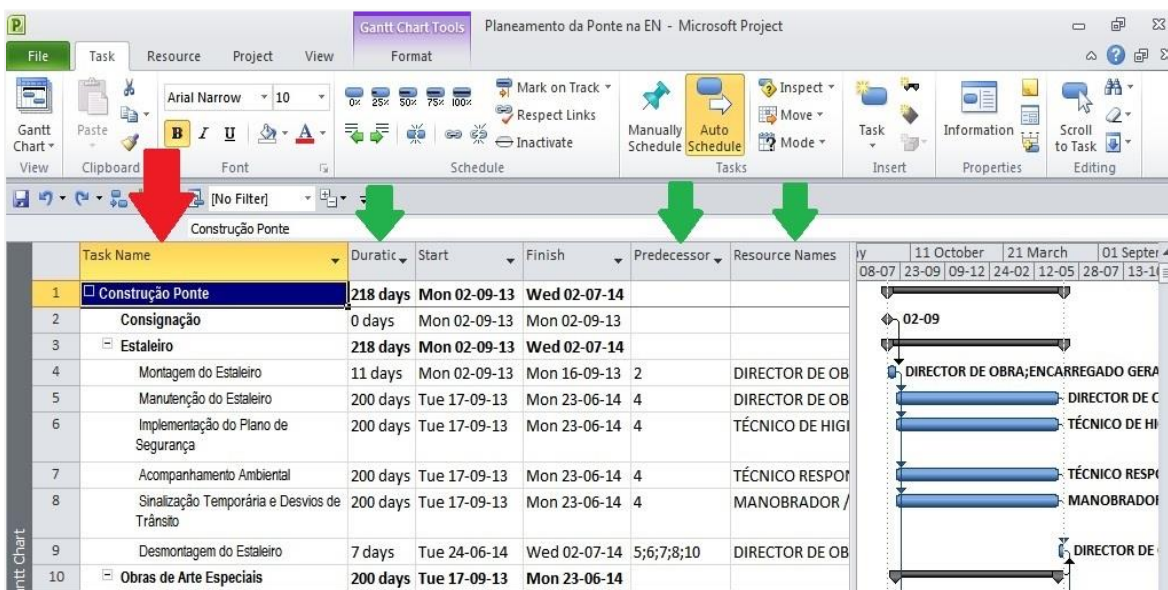


Figura 4.25- Descrição das Atividades, Durações, Precedências e Recursos no Project

Como referido no capítulo anterior, o Project para a inserção das atividades utiliza o modo de visualização Gráfico de Gantt, ver Figura 4.25.

O Project permite definir as características de cada recurso como, ver Figura 4.26, o seu custo/hora, a sua tipologia, o seu calendário base, o número de unidades de cada recurso envolvidas no projeto, entre outras. Elementos essenciais para um bom planeamento dos recursos e dos seus custos.

	Resource Name	Type	Mater Label	Initial	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue At	Base Calendar
1	DIRECTOR DE OBRA	Work		A		1	22,00 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
2	TÉCNICO DE HIGIENE, SEGURANÇA E SAÚDE	Work		T		1	8,50 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
3	TÉCNICO DE CONTROLO DE QUALIDADE	Work		T		1	22,00 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
4	TÉCNICO RESPONSÁVEL PELA GESTÃO AMBIENTAL	Work		T		1	8,50 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
5	ENCARREGADO GERAL	Work		E		1	11,00 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
6	TOPÓGRAFO	Work		T		1	6,80 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
7	OPERADOR DE LABORATÓRIO	Work		O		1	5,70 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
8	PORTA-MIRAS	Work		P		1	5,70 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard
9	TELEFONISTA	Work		T		1	0,00 €/hr	0,00 €/hr	0,00 €	Prorated	Standard

Figura 4.26- Definição das características dos Recursos no Project

A folha de cálculo do Project possibilita a inserção de novas colunas de elementos essenciais ao planeamento, como demonstra a Figura 4.27. O planeamento da Ponte em estudo, insere as colunas:

- Duração de Cálculo em Dias Úteis;
- Quantidades;
- Unidades;
- Rendimentos Diários;

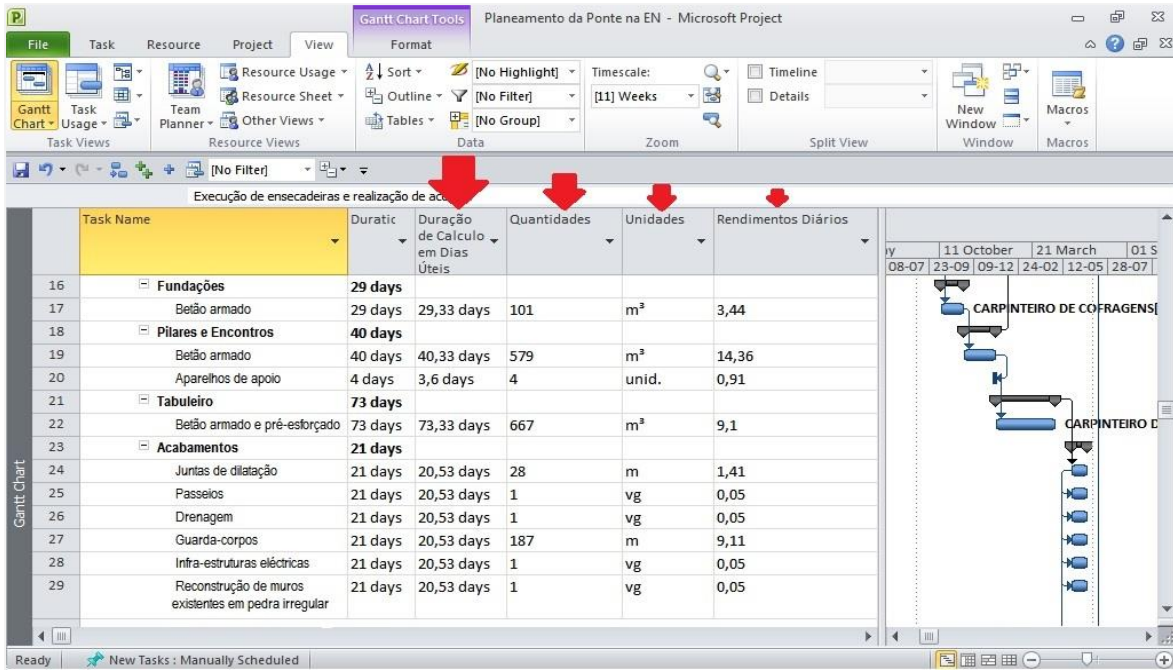


Figura 4.27- Definição das Quantidades, Unidades e Rendimentos Diários no Project

O Project possibilita formatar as colunas como, por exemplo, mostrar o rendimento diário de cada atividade a partir dos dias úteis teóricos e das quantidades, ver a Figura 4.28, efetuando os passos:

- Project > Custom Fields > Field > Formula.

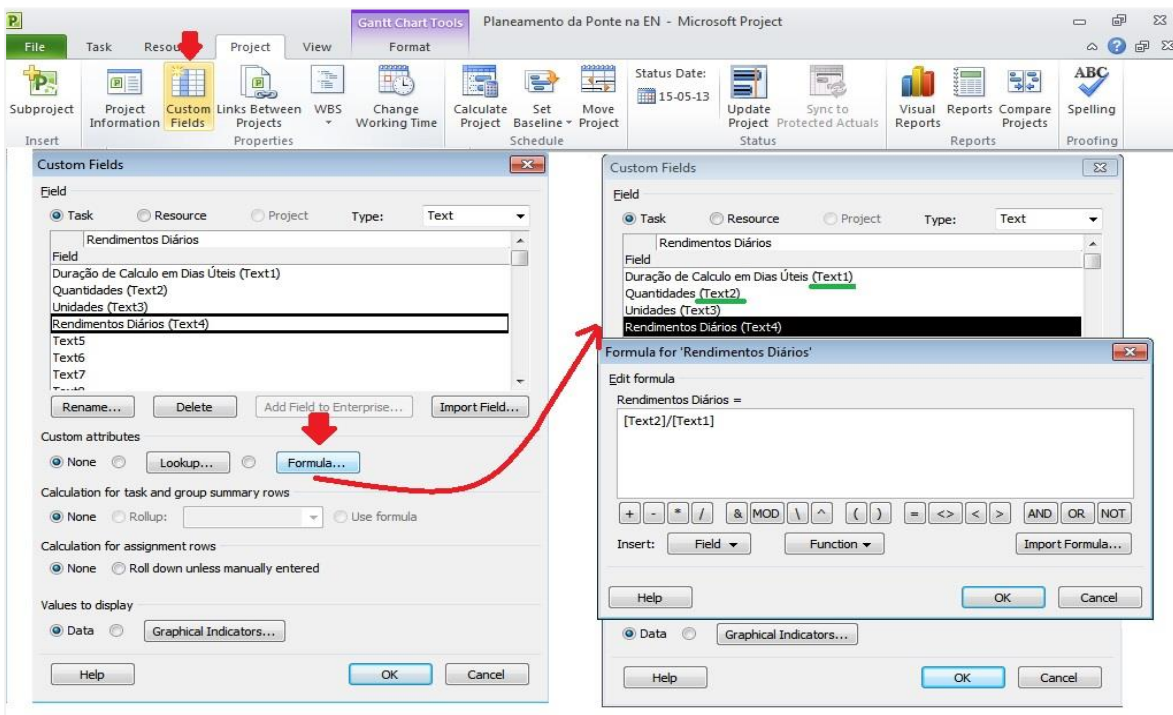


Figura 4.28- Formatação das Colunas no Project

O Project fornece o “*Network Diagram*”, Diagrama de Rede (Gráfico de Pert) do projeto, ver Anexo 4.3, onde representa todas as atividades do projeto e suas eventuais dependências, e apresenta a vermelho as atividades do Caminho Crítico. A Figura 4.29, demonstra um pequeno destacamento do Diagrama de Rede do caso de estudo.

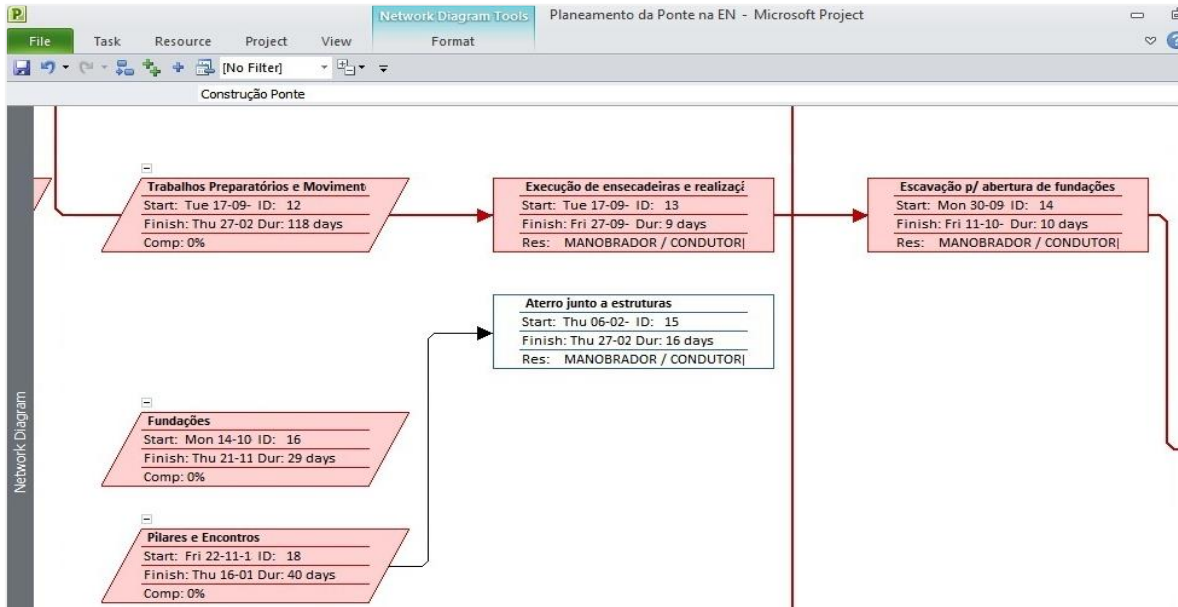


Figura 4.29- Representação de parte do Diagrama de Rede do Projeto em Estudo

As Barras a vermelho no Gráfico de Gantt, ver Figura 4.30, no Project representam o Caminho Crítico do projeto (ver mais pormenorizado em Anexo 4.2).

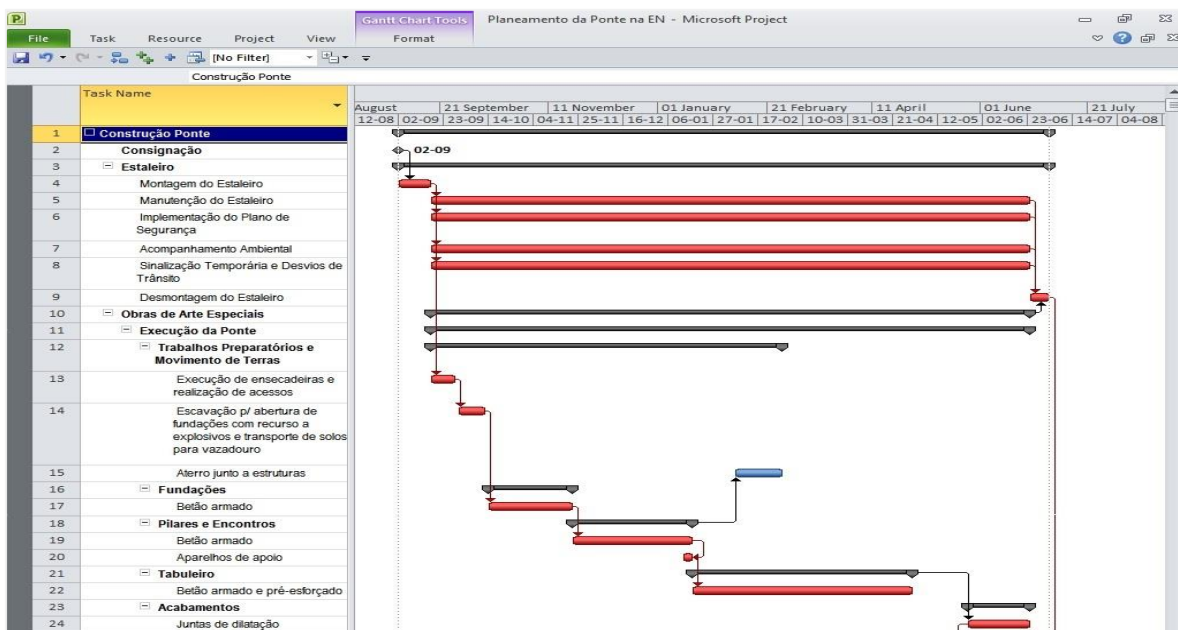


Figura 4.30- Representação do Caminho Crítico no Gráfico de Gantt do Projeto em Estudo

### 4.3 Conclusões

No presente capítulo elabora-se o planeamento de uma Ponte no Project.

Para a realização deste planeamento, foi necessário a determinação dos rendimentos em função dos recursos envolvidos e das quantidades, como demonstrado nos exemplos calculados.

Para a determinação dos rendimentos, recorreu-se as Tabelas de Paz Branco, a Sebenta do IST, a consulta de algumas empresas e de alguns catálogos de equipamentos.

Constata-se a dificuldade em obter a metodologia de cálculo dos rendimentos, essencialmente no que diz respeito à pavimentação, não só face à bibliografia de consulta como também à restrição por parte de algumas empresas da especialidade.

Podemos concluir que, o Gráfico de Gantt é um elemento relevante no planeamento da obra. Permite a visualização das relações de dependências entre as atividades e a definição do caminho crítico, possibilitando a identificação das atividades com folga e o cálculo das datas dos acontecimentos, elementos essenciais para as tomadas de decisão do planeamento.

## 5. Caso de Estudo 2- Construção da Estrutura de dois Edifícios

### 5.1 Descrição da Obra

O presente caso de estudo diz respeito ao planeamento da construção da estrutura dos edifícios Este e Oeste do Empreendimento Dehaus Garten Residenz, localizados na Avenida da Boavista (ver Figura 5.1).

Os Edifícios Este e Oeste compõem-se por três pisos habitacionais e por um piso de garagens. A tipologia das habitações varia de T3+1 até T5+1, sendo em regra, pelas suas características, destinadas à habitação própria e permanente.



Figura 5.1- Empreendimento Dehaus Garten Residenz (adaptado de [52])

Na Cave, situam-se as garagens, os restantes pisos são ocupados da seguinte forma (ver Figura 5.2):

- Edifício Este;
  - Piso 0: T3+1 e T4+1;
  - Piso 1: T3+1 e T4+1;
  - Piso 2: T5+1.
- Edifício Oeste.
  - Piso 0: T3+1, T4+1 e T5+1;

- Piso 1: T3+1, T4+1 e T5+1;
- Piso 2: T4+1 e T4+1.

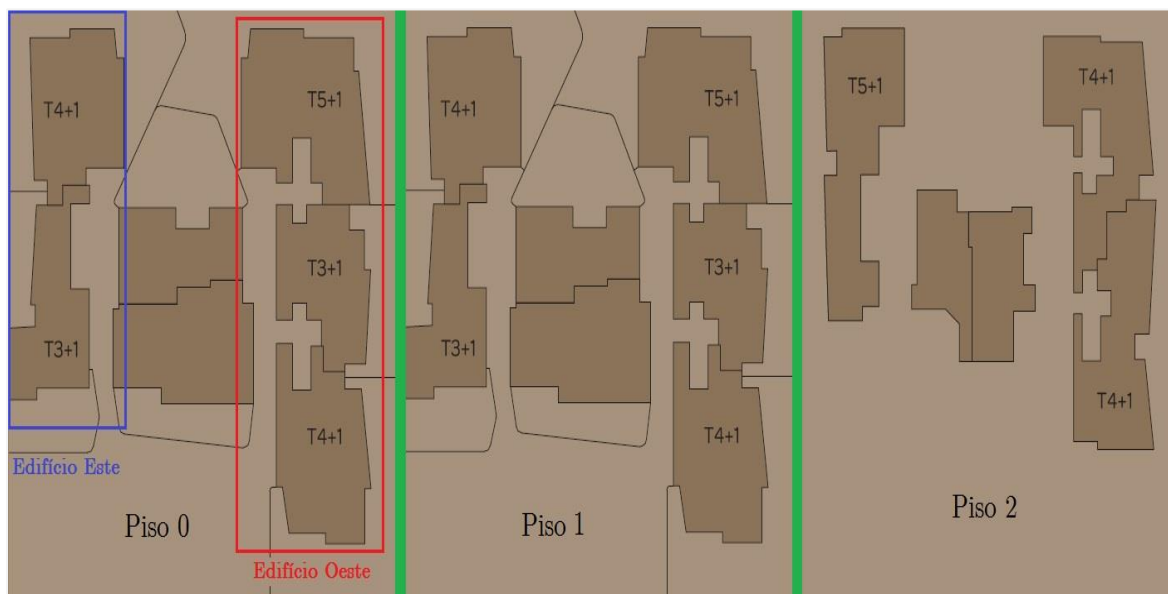


Figura 5.2- Tipologia dos Edifícios Este e Oeste (adaptado de [52])

A estrutura dos Edifícios é composta por pilares e vigas em betão armado, sendo os pavimentos constituídos por lajes maciças de betão armado.

Para fazer face ao impulso das terras envolventes, existem muros de suporte.

As fundações dos Edifícios são de tipologias diferentes devido às características dos solos de fundação, sendo constituídas por sapatas e vigas lintel ou por ensoleiramento geral.

### 5.1.1 Atividades da Obra

Para a execução da obra, neste caso de estudo, da construção estrutural de dois Edifícios, são necessárias as seguintes atividades:

- Consignação;
- Estaleiro;
  - Montagem, Exploração e Desmontagem.

Consiste em estabelecer as condições relativas à montagem, manutenção e desmontagem do estaleiro para execução da empreitada, incluindo as correspondentes instalações de

apoio, equipamentos e infraestruturas necessários, bem como sinalização, proteções de segurança, seguros e licenças associados à execução da obra, segurança e demais trabalhos preparatórios necessários.

- Movimento de Terras;

O Movimento de Terras é o conjunto de trabalhos executados por homens, máquinas e ferramentas destinadas à preparação dos terrenos para a implantação de estruturas, pavimentos ou outras obras de Construção Civil. [7]

Na realização desta obra, consiste na concretização das seguintes tarefas:

- Escavação Geral em Terreno de Qualquer Natureza;
- Escavação na Abertura de Fundações para Elementos Enterrados;
- Escavação no Tardoz de Muros de Suporte para Execução dos Mesmos;
- Aterro com Solos Seleccionados na Reposição de Terreno sobre Sapatas de Fundação;
- Aterro com Solos Seleccionados na Reposição de Terreno sobre Tardoz de Muros de Suporte.

- Estrutura e Contenção Periférica;

A Estrutura e Contenção Periférica, da obra em estudo, consistem na realização das seguintes duas grandes tarefas:

- Betão Armado em Fundações;

O Betão Armado em Fundações constitui a realização das seguintes subtarefas:

- Fornecimento e Colocação de Betão C12/15 (B15) em Camadas de Regularização e Limpeza;
- Betão Armado C25/30 (B30) em Sapatas de Fundação e Vigas Lintel;
- Execução de Pavimento Térreo Novo, Realizado com 0,15m de Espessura;

- Execução de Pavimento Térreo Novo, Realizado com Betão da Classe C16/20 (B20) com 0,13m de Espessura;
- Execução de Ensoleiramento Geral, Realizado com 0,45m de Espessura.
- Betão Armado em Estruturas;
  - Trabalhos de Geotecnia;

A caracterização geotécnica permite a classificação geotécnica de um dado solo, isto é, a sua maior ou menor aptidão para a implantação de uma dada obra. No presente caso de estudo, essa classificação implica a realização da seguinte atividade:

- Execução de Ancoragens / Muros de Berlim.

Consiste na concretização de muros de betão armado para contenção de terras através da execução de painéis discretos de pequena dimensão, realizados por níveis e de forma descendente. Atracados ao terreno através de ancoragens, constituídas por cordões de aço de alta resistência.

- Super Estrutura.

A Super Estrutura desta obra, engloba a realização das seguintes atividades:

- Platibandas e Muretes Maciços;
  - Caixas de Escadas e de Elevador;
  - Paredes;
  - Pilares;
  - Laje Maciça de Betão Armado em Escadas;
  - Vigas;
  - Teto em Laje Maciça de Betão Armado;
  - Muros de Suporte.
- Conclusão da Obra.
    - Entrega da Obra.

### 5.1.2 Rendimento de Mão-de-Obra e Equipamento

No planeamento desta obra também se utilizou maioritariamente equipas de trabalho para a realização das atividades, sendo como podemos observar nas tabelas, uma agregação de equipamento e mão-de-obra.

Os rendimentos das referidas equipas foram fornecidos por uma empresa com vasto curriculum na realização de várias obras do género, não indicando o seu método de cálculo.

Seguidamente apresenta-se as atividades com as respetivas equipas de trabalho necessárias à sua realização, juntamente com a quantidade, duração e rendimento de trabalho que, nalguns exemplos, se ilustra a forma de determinação dos mesmos.

- Montagem, Exploração e Desmontagem de Estaleiro de obra;

Tabela 5.1- Equipa de Montagem, Exploração e Desmontagem do Estaleiro de Obra

Descrição dos Recursos/Equipamentos	Quantidade:
Contentor - Instalações Sanitárias	1
Contentor - Direção de Obra	1
Contentor – Fiscalização	1
Contentor - Sala de Reuniões	1
Ferramentaria	1
Ecoponto	1
Equipamento Informático (vg)	1
Parque de Máquinas e Equipamentos	1
Viatura de Apoio	1
Gerador	1
Projetor de Iluminação (vg)	1
Picheleiro	2
Ajudante de Picheleiro	1
Equipamento Diverso de Pichelaria (vg)	1
Retroescavadora Komatsu WB 93 R	1
Manobrador / Condutor	1
Gruista	1
Equipamento de Proteção Colectiva (vg)	1
Equipamento de Proteção Individual (vg)	1

Bigbags (vg)	1
Técnico de Segurança e Saúde	1
Técnico de Qualidade e Gestão Ambiental	1
Contentor de Resíduos	1
Encarregado Sénior	1
Eng.º Civil Sénior - Diretor Técnico da Empreitada	1
Eng.º Civil Júnior	1
Preparador de Obra	1
Apontador	1
Topógrafo	1
Estação Total "Trimble"	1
Porta Miras	1
Silo de Argamassas	2
Andaimes e Escadas (vg)	1
Eletricista	2
Ajudante de Eletricista	1
Equipamento Diverso de Eletricidade (vg)	1
Grua com 55m Lança	1

Duração:

- 98 dias úteis

➤ Movimento de Terras;

Tabela 5.2- Equipa de Movimento de Terras

Descrição dos Recursos/Equipamentos	Quantidades:
Escavadora Giratória Komatsu PC 240	2
Camião Carga Geral	5
Retroescavadora Komatsu WB 93 R	1
Cilindro Misto Dynapac CA6000	1
Trator com Cisterna de Água	1
Manobrador / Condutor	10

Escav. Geral, Terreno Qualquer, Natureza

Escav. Fundações, Elementos Enterrados

Quantidades:

- 7550,75 m<sup>3</sup>

Quantidades:

- 4636,41 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 755,08 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 10 dias úteis

Escav. Tardoz de Muros Suporte para

Execução dos Mesmos

Quantidades:

- 1891,63 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 189,16 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 10 dias úteis

Rendimento:

- 662,34 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 7 dias úteis

Aterro de Solos Seleccionados na Reposição

de Terreno sobre Sapatas de Fundação

Quantidades:

- 3874,85 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 774,97 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 5 dias úteis

Aterro de Solos Seleccionados na Reposição de Terreno sobre Tardoz de Muros de Suporte

Quantidades:

- 1891,62 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 662,07 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 2,86 dias úteis

➤ Betão Armado em Fundações;

Tabela 5.3- Equipa de Betão Armado em Fundações

Descrição dos Recursos/Equipamentos	Quantidades:
Carpinteiros de Cofragem	8
Estaleiro de Cofragens	1
Estaleiro de Ferro	1
Máquina de Cortar/Dobrar Varão	1
Servente de Carpinteiro de Cofragem	4

Cofragem Diversa (vg)	1
Escoramento Diverso (vg)	1
Pulverizador Descofrante (vg)	1
Ferramentas Diversas (vg)	1
Armador de Ferro	6
Tesouras de Varão (vg)	1
Berbequins (vg)	1
Vibradores Agulha (vg)	1
Rebarbadora (vg)	1
Serra de Mesa (vg)	1
Balde de Grua	1
Auto Bomba de Betão	1
Cimenteiro	3
Réguas (vg)	1
Helicóptero	1

Fornecimento e Colocação de Betão C12/15    Betão Armado C25/30 (B30) em Sapatas

(B15), Camadas de Regularização e Limpeza    de Fundação e Vigas Lintel

Quantidades:

- 138,68 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 17,34 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 8 dias úteis

Quantidades:

- 628,35m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 52,36m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 12 dias úteis

Execução de Pavimento Térreo Novo,

Realizado com 0,15m de Espessura

Quantidades:

- 1883,22 m<sup>2</sup>

Rendimento:

- 171,2 m<sup>2</sup>/dia

Exec. de Pavim. Térreo Novo, com Betão

C16/20 (B20) com 0,13m de Espessura

Quantidades:

- 346,85 m<sup>2</sup>

Rendimento:

- 115,62 m<sup>2</sup>/dia

Duração:

- 11 dias úteis

Duração:

- 3 dias úteis

Execução de Ensoleiramento Geral, Realizado com 0,45m de Espessura

Quantidades:

- 194,1 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 32,35 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 6 dias úteis

➤ Betão Armado em Estruturas (Trabalhos de Geotecnia);

Tabela 5.4- Equipa de Betão Armado em Estruturas (Trabalhos de Geotecnia)

Descrição do Recurso/Equipamento	Quantidades:
Armador de Ferro	4
Máquina de Cortar/Dobrar Varão	1
Tesouras de Varão (vg)	1
Cimenteiro	2
Técnico Geotecnia	3
Carpinteiro de Cofragem	4
Cofragem Diversa (vg)	1
Escoramento Diverso (vg)	1
Vara Kelly	1
Baldes e Bits de Furação (vg)	1
Martelo de Fundo de Furo	1
Macaco de Pré-Esforço até 1000 kN	1
Servente de Carpinteiro de Cofragem	2
Sondador	2
Máquina de Furação de Pequeno Diâmetro sobre Lagartas do Tipo Klemm/Tamrock	1
Chefe de Equipa	1
Central de Injeção	1
Varas de Furação (vg)	1
Máquina de Projeção de Betão do Tipo Aliva	1

Execução de Ancoragens / Muros de Berlim

Quantidades:

- 148,29 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 7,79 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 19,04 dias úteis

➤ Betão Armado em Estruturas.

Tabela 5.5- Equipa de Betão Armado em Estruturas

Descrição dos Recursos/Equipamentos	Quantidades:
Carpinteiros de Cofragem	10
Estaleiro de Cofragens	1
Estaleiro de Ferro	1
Máquina de Cortar/Dobrar Varão	1
Servente de Carpinteiro de Cofragem	5
Cofragem Diversa (vg)	1
Escoramento Diverso (vg)	1
Pulverizador Descofrante (vg)	1
Ferramentas Diversas (vg)	1
Armador de Ferro	8
Cimenteiro	4
Berbequins (vg)	1
Vibradores Agulha (vg)	1
Rebarbadora (vg)	1
Serra de Mesa (vg)	1
Balde de Grua	1
Auto Bomba de Betão	1

Caixas de escadas e de elevador

Quantidades (Piso -1, restantes):

- 20,2 m<sup>3</sup> e 32,32 m<sup>3</sup> por piso

Paredes

Quantidades (Piso -1, restantes):

- 58,45 m<sup>3</sup> e 93,44 m<sup>3</sup> por piso

Rendimento:

- 4,04 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0, 1 e 2):

- 5, 8, 8 e 8 dias úteis

Pilares

Quantidades (Piso -1, restantes):

- 18,7 m<sup>3</sup> e 29,92 m<sup>3</sup> por piso

Rendimento:

- 3,74 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0, 1 e 2):

- 5, 8, 8 e 8 dias úteis

Vigas

Quantidades (Piso -1, restantes):

- 29,44 m<sup>3</sup> e 36,8 m<sup>3</sup> por piso

Rendimento:

- 3,68 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0, 1 e 2):

- 8, 10, 10 e 10 dias úteis

Muros de suporte

Quantidades (Piso -1 e 0):

- 75,2 m<sup>3</sup> e 60,16 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 7,52 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1 e 0):

- 10 e 8 dias úteis

Rendimento:

- 11,69 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0, 1 e 2):

- 5, 8, 8 e 8 dias úteis

Laje maciça de betão armado em escadas

Quantidades:

- 9,81 m<sup>3</sup> por piso

Rendimento:

- 3,27 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0 e 1):

- 3, 3 e 3 dias úteis

Teto em Laje maciça de betão armado

Quantidades (Piso -1, restantes):

- 351,28 m<sup>3</sup> e 439,1 m<sup>3</sup> por piso

Rendimento:

- 43,91 m<sup>3</sup>/dia

Duração (Piso -1, 0, 1 e 2):

- 8, 10, 10 e 10 dias úteis

Platibandas e muretes maciços

Quantidades:

- 8,41 m<sup>3</sup>

Rendimento:

- 2,8 m<sup>3</sup>/dia

Duração:

- 3 dias úteis

✓ O rendimento da realização dos Muros de Suporte do Piso -1, pode ser obtido através dos seguintes cálculos:

- Cofragem;

Admite-se que o muro possui uma espessura de 0,30 metros, um comprimento de aproximadamente 83,6 metros e 3 metros de altura, a área de cofragem a executar é de:

$$Área_{Cofragem} = 83,6 \times 3 = 250,8 \text{ m}^2 \quad (5.1)$$

Recorrendo às Tabelas de Paz Branco [1], ver Figura 5.3, e usando as seguintes expressões, calcula-se a sua duração.

$$\begin{aligned} &Área_{Cofragem} \times Factor_{Cofragem} \quad (5.2) \\ \leftrightarrow &250,8 \times (2,7 + 0,6) = 827,64 H \times h \end{aligned}$$

Obra	TABELA II.3 Cofragens tradicionais H x h/m <sup>2</sup> de cofragem									
	Operações consideradas:					Montagem, desmontagem limpeza e reparações				
	Tradicional (corrente)					Fabrico de taipais	Tradicional melhorada			
	Utilizações admissíveis						Utilizações admissíveis			
1.ª	2.ª	3.ª	4.ª	5.ª	1.ª à 5.ª	6.ª à 10.ª	11.ª à 13.ª	14.ª à 17.ª		
Sapatas (médiãs)	0,90	0,75	0,90	1,10	1,30	2,70	0,45	0,65	0,90	1,20
Muros de suporte	1,20	1,00	1,20	1,40	1,80	2,70	0,60	0,80	1,05	1,35
Paredes	1,30	1,10	1,30	1,50	1,90	3,45	0,70	0,90	1,15	1,45
Cortinas e cimalthas	1,65	1,55	1,65	2,10	2,40	4,20	0,95	1,05	1,30	1,60

Figura 5.3- Tabela para Cofragens Tradicionais (adaptado de [1])

Sabendo que a equipa é constituída por 15 Homens e que trabalham 8 horas diárias, a realização das cofragens têm uma duração de:

$$\frac{827,64 H \times h}{15 H \times 8 h / \text{diárias}} = 6,90 \text{ dias}$$

- Armaduras;

Para a determinação da duração da execução e colocação das armaduras é necessário determinar o Peso da Armadura Total das Sapatas. Não dispondo dessa informação, adoptou-se como sendo aproximadamente igual a  $50 \text{ Kg/m}^3$  de Betão, valor adoptado de um muro executado por uma empresa do ramo.

$$50 \text{ Kg/m}^3 \times 75,2 \text{ m}^3 = 3760 \text{ Kg de Armadura} \quad (5.3)$$

Utilizando as Tabelas de Paz Branco, ver Figura 5.4, calcula-se a sua duração. Não dispondo da informação das armaduras adopta-se o valor médio da tabela, que coincide com o valor de  $\varnothing 16$  (considerando a não utilização de  $\varnothing 6$ ), logo:

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Corte e Dobragem}} \quad (5.4)$$

$$\leftrightarrow \frac{3760}{10} \times 0,414 = 155,664 \text{ H} \times h$$

Segundo Paz Branco [1], para aplicação de aço A40, deverão agravar-se os tempos para corte e dobragem em 30%:

$$155,664 \times 1,30 = 202,363 \text{ H} \times h \quad (5.5)$$

<i>Armaduras para betão</i>																
<i>H × h para corte, dobragem, armação e aplicação em obra de 10 kg de varão</i>																
<i>Diâmetros em mm</i>																
<i>Obra de betão</i>	<i>Corte e dobragem</i>								<i>Armação e aplicação</i>							
	6	8	10	12	16	20	25	32	6	8	10	12	16	20	25	32
<i>Maciços e pégões</i>	0,590	0,560	0,531	0,501	0,472	0,442	0,413	0,368	0,460	0,438	0,418	0,399	0,379	0,360	0,342	0,325
<i>Sapatas</i>	0,560	0,532	0,504	0,476	0,448	0,420	0,392	0,364	0,477	0,462	0,445	0,424	0,403	0,382	0,363	0,345
<i>Massames</i>	0,355	0,315	—	—	—	—	—	—	0,416	0,389	—	—	—	—	—	—
<i>Muros de suporte</i>	0,355	0,315	0,310	0,362	0,414	0,355	0,315	0,283	0,416	0,389	0,369	0,351	0,333	0,316	0,300	0,286

Figura 5.4- Tabela de Armadura para Betão (adaptado de [1])

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Amarração e Aplicação}} \quad (5.6)$$

$$\Leftrightarrow 376 \times 0,333 = 125,208 H \times h$$

Sabendo que a equipa é constituída por 8 Armadores e que trabalham 8 horas diárias, a realização das cofragens têm uma duração de:

$$\frac{202,363 H \times h + 125,208 H \times h}{8 H \times 8 h / \text{diárias}} = 5,12 \text{ dias}$$

- Grua;

A colocação da armadura e da cofragem, no local da sua aplicação, é efectuada com o auxílio de uma grua com 55m de lança, ocorrendo a sua elevação a 5 metros de altura, com uma translação de 15 metros e a sua descida a 8 metros.

Considerando que o peso da cofragem é aproximadamente igual a 48 kg/m<sup>2</sup>, valor obtido de um exemplo de Paz Branco [1]. O valor do peso total a ser transportado pela Grua é de:

$$\begin{aligned} & \text{Peso da Armadura} + \text{Peso da Cofragem} \quad (5.7) \\ & = (75,2 \text{ m}^3 \times 50 \text{ Kg/m}^3) + (250,8 \text{ m}^2 \times 48 \text{ Kg/m}^2) \\ & = 15798,4 \text{ Kg} \sim 15,80 \text{ t} \end{aligned}$$

A duração da realização desta tarefa, pode ser obtida através da Tabela I.5 de Paz Branco [1], ver Figura 5.5.

$$\begin{aligned} a & = \text{Elevação}_{\text{metros}} \times \text{Factor } a_{\text{Grua}} \quad (5.8) \\ \Leftrightarrow a & = 5 \times 0,01 = 0,05 H \times h/t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b & = \text{Translação (Braço)}_{\text{metros}} \times \text{Factor } b_{\text{Grua}} \quad (5.9) \\ \Leftrightarrow b & = 15 \times 0,012 = 0,18 H \times h/t \end{aligned}$$


$$e = Descida_{metros} \times Factor e_{Grua} \quad (5.10)$$

$$\leftrightarrow e = 8 \times 0,012 = 0,096 H \times h/t$$

$$Factor_{Grua} = a + b + e \quad (5.11)$$

$$= 0,05 + 0,18 + 0,096 = 0,326 H \times h/t$$

*H × h para elevação e/ou translação de uma tonelada de materiais e metro de deslocação*



Meios, Dispositivos	Acessórios dos dispositivos ou características	Condições				
		Elevação	Translação combinada	Translação sequente	Translação sequente da grua	Descida
		a	ab	b	d	e
Grua torre sobre carris	Guincho	0,01	—	—	—	—
	Guincho – Charriot	0,01	0,012	0,012	—	—
	Guincho + Charriot	0,01	0,012	0,012	0,013	—
	Guincho + Charriot + Carro	0,01	0,012	0,012	0,013	—
	Guincho + Carro	0,01	0,013	—	0,013	—
	Guincho + Charriot + Guincho	0,01	0,012	0,012	—	0,012
	Guincho + Char. + Carro + Guincho	0,01	0,012	0,012	0,013	0,012

Figura 5.5- Tabela para utilização de Gruas (adaptado de [1])

Sabendo que são 8 horas diárias de trabalho, traduz-se em:

$$\frac{15,80 t \times 0,326 H \times h/t}{8 h / diárias} = 0,644 dias$$

- Betão.

Fazendo uso das Tabelas de Paz Branco, determina-se as durações da colocação do Betão no local e de Aplicação, Espalhamento e Compactação.

Para a colocação do Betão a uma distância média de 25 metros do local de aplicação utiliza-se uma Bomba de Betão Móvel, ver Figura 5.6.

$$Q_{Betão} \times \frac{Factor_{Colocação no Local}}{H \times h} \quad (5.12)$$

$$\leftrightarrow 75,2 m^3 \times \frac{0,065}{1 H \times 8 h / diárias} = 0,611 dias$$

*Colocação no local de aplicação*


Meios	Transporte vertical (m)										+ Horizontal (m)			
	3	6	9	12	15	18	21	24	25	27	30	10	20	30
A braço	0,68	1,35	2,03	2,70	3,38	—	—	—	—	—	—	0,38	0,67	1,02
Corpo 2 Guincho c/charriot de 3 m	0,210	0,420	0,630	0,840	1,050	1,26	1,37	1,68	1,89	2,10	0,27	0,62	0,97	
Grua com lança de 30 m	0,025	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25	0,07	0,12	0,17	
 Bomba de betão	0,03	0,03	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,06	0,075	—	Incluídas			
									0,065					

Figura 5.6- Tabela para Colocação do Betão no Local (adaptado de [1])

No espalhamento e compactação, ver Figura 5.7, utiliza-se os 4 Cimenteiros da equipa de trabalho.

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Espalhamento e Compactação}}{H \times h} \quad (5.13)$$

$$\leftrightarrow 75,2 \text{ m}^3 \times \frac{0,96}{4 H \times 8 h / \text{diárias}} = 2,256 \text{ dias}$$

*Aplicação de betão em obra; em H × h/m<sup>3</sup>*  
*(lançamento, espalhamento e compactação)*  
*A estes valores deverá adicionar-se: amassadura elevação e transporte*  
*(Tabelas próprias)*


A OBRA Elementos a betonar	O BETÃO				Observações
	Consistência				
	Seco	Normal	Plástico	Fluido	
Maciços e pegões	0,85	0,72	0,67	0,60	Neste grupo de trabalhos deverá contar-se com 20% de mão-de-obra especializada
Sapatas	0,95	0,87	0,80	0,72	
Massames	1,20	1,10	1,00	0,90	
 Muros de suporte	1,05	0,96	0,87	0,75	
Paredes grossas	1,15	1,05	0,95	0,85	

Figura 5.7- Tabela para Aplicação do Betão (adaptado de [1])

O somatório destas parcelas dá-nos a duração do “Betão”:

$$0,611_{Colocação\ no\ Local} + 2,256_{Esp.Compactação} = 2,867\ dias \quad (5.14)$$

Tendo em consideração a ordem de execução e da realização em simultâneo das tarefas, a duração da atividade é de:

$$\begin{aligned} &Cofragem + Grua + Betão \quad (5.15) \\ \leftrightarrow &6,90 + 0,644 + 2,867 = 10,411\ dias \end{aligned}$$

Dando origem a um rendimento de:

$$\frac{75,2\ m^3}{10,411\ dias} = 7,22\ m^3/dia$$

O valor do rendimento fornecido pela empresa é de 7,52 m<sup>3</sup>/dia, que é muito próximo do calculado, devendo-se esta diferença ao facto de não termos o rendimento da Grua e o peso da armadura, tendo sido adaptado das Tabelas de Paz Branco e de uma empresa do ramo respectivamente.

✓ O rendimento da realização das Vigas do Piso 1, pode ser obtido através dos seguintes cálculos:

- Cofragem;

Admite-se que as vigas possuem uma secção média de 0,30×0,20 metros e um comprimento aproximado de 613,3 metros, logo a área de cofragem a executar é de:

$$Área_{Cofragem} = 613,3 \times ((0,3 \times 2) + 0,2) = 490,64\ m^2 \quad (5.16)$$

Considera-se que a tipologia usada de Cofragem é a tradicional melhorada, que de acordo com Paz Branco [1] admitem 17 utilizações, e que o fabrico da cofragem foi realizado na

obra anterior para uma utilização, executando-se apenas neste piso a Montagem, desmontagem, limpeza e reparações das cofragens.

Recorrendo às Tabelas de Paz Branco [1], ver Figura 5.8, calcula-se a sua duração.

$$\begin{aligned} & \text{Área}_{\text{cofragem}} \times \text{Factor}_{\text{cofragem}} && (5.17) \\ \Leftrightarrow & 490,64 \times 1,40 = 686,90 H \times h \end{aligned}$$

TABELA II.3 Cofragens tradicionais H × h/m <sup>2</sup> de cofragem											
Obra	Operações consideradas:						Montagem, desmontagem limpeza e reparações				
	Tradicional (corrente)						Tradicional melhorada				
	Utilizações admissíveis					Fabrico de taipais	Utilizações admissíveis				
	1.ª	2.ª	3.ª	4.ª	5.ª		1.ª à 5.ª	6.ª à 10.ª	11.ª à 13.ª	14.ª à 17.ª	
Vigas de grande secção	2,15	1,51	2,15	2,65	3,20	4,10	1,15	1,50	1,85	2,20	
Vigas de média secção	2,85	1,88	2,85	3,30	3,85	4,40	1,40	1,75	2,10	2,50	
Vigas de pequena secção	3,53	2,47	3,53	3,95	4,45	4,80	1,75	2,15	2,55	2,95	
Vigas trapezoidais	3,50	2,50	3,50	3,75	4,10	4,80	1,65	2,00	2,35	2,70	
Vigas curvas	5,40	5,00	5,40	6,10	6,80	6,40	5,40	6,80	—	—	

Figura 5.8- Tabela para Cofragens Tradicionais (adaptado de [1])

Sabendo que a equipa é constituída por 15 Homens e que trabalham 8 horas diárias, a Montagem, desmontagem, limpeza e reparações das cofragens têm uma duração de:

$$\frac{686,90 H \times h}{15 H \times 8 h / \text{diárias}} = 5,72 \text{ dias}$$

- Armaduras;

Não dispondo da informação das armaduras usadas, adoptou-se como sendo aproximadamente igual a 150 Kg/m<sup>3</sup> de Betão e constituída por Ø16, valor adoptado de um muro executado por uma empresa do ramo.

$$150 \text{ Kg/m}^3 \times 36,80 \text{ m}^3 = 5520 \text{ Kg de Armadura} \quad (5.18)$$

Utilizando as Tabelas de Paz Branco, ver Figura 5.9, calcula-se a sua duração.

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Corte e Dobragem}} \quad (5.19)$$

$$\leftrightarrow \frac{5520}{10} \times 0,474 \times 1,30 = 340,14 \text{ H} \times h$$

<i>Armaduras para betão</i>																
<i>H × h para corte, dobragem, armação e aplicação em obra de 10 kg de varão</i>																
Diâmetros em mm																
Obra de betão	Corte e dobragem							Armação e aplicação								
	6	8	10	12	16	20	25	32	6	8	10	12	16	20	25	32
Vigas de grande secção	0,518	0,492	0,466	0,440	0,414	0,362	0,310	0,259	0,514	0,490	0,467	0,445	0,421	0,397	0,374	0,355
Vigas de média secção	0,592	0,562	0,532	0,503	0,474	0,444	0,414	—	0,596	0,565	0,534	0,480	0,432	0,410	0,389	—
Vigas de pequena secção	0,666	0,599	0,562	0,532	0,503	—	—	—	0,627	0,596	0,565	0,534	0,480	0,432	—	—

Figura 5.9- Tabela de Armadura para Betão (adaptado de Paz Branco [1])

$$\frac{\text{Peso Total da Armadura}}{10 \text{ Kg}} \times \text{Factor}_{\text{Armação e Aplicação}} \quad (5.20)$$

$$\leftrightarrow 552 \times 0,432 = 238,46 \text{ H} \times h$$

Sendo a equipa constituída por 8 Armadores e que trabalham 8 horas diárias, a realização desta atividade têm uma duração de:

$$\frac{340,14 \text{ H} \times h + 238,46 \text{ H} \times h}{8 \text{ H} \times 8 \text{ h} / \text{diárias}} = 9,04 \text{ dias}$$

- Grua;

Considerando a realização em simultâneo das tarefas, apenas a colocação das armaduras condicionam o rendimento.

Executando a Grua, a sua elevação a 9 metros de altura, com uma translação máxima de 30 metros e a sua descida a 3 metros.

$$\begin{aligned} \text{Peso da Armadura} & \quad (5.21) \\ & = 36,8 \times 150 \\ & = 5520 \text{ Kg} \sim 5,52 \text{ t} \end{aligned}$$

A duração da realização desta tarefa, pode ser obtida através da Tabela I.5, ver Figura 5.5.

$$a = \text{Elevação}_{\text{metros}} \times \text{Factor } a_{\text{Grua}} \quad (5.22)$$

$$\leftrightarrow a = 9 \times 0,01 = 0,09 H \times h/t$$

$$b = \text{Translação (Braço)}_{\text{metros}} \times \text{Factor } b_{\text{Grua}} \quad (5.23)$$

$$\leftrightarrow b = 30 \times 0,012 = 0,36 H \times h/t$$

$$e = \text{Descida}_{\text{metros}} \times \text{Factor } e_{\text{Grua}} \quad (5.24)$$

$$\leftrightarrow e = 3 \times 0,012 = 0,036 H \times h/t$$

$$\text{Factor } \text{Grua} = a + b + e \quad (5.25)$$

$$= 0,09 + 0,36 + 0,036 = 0,486 H \times h/t$$

Sabendo que são 8 horas diárias de trabalho, traduz-se em:

$$\frac{5,52 t \times 0,486 H \times h/t}{8 h / \text{diárias}} = 0,34 \text{ dias}$$

- Betão.

Para a colocação do Betão no local de aplicação usa-se o Balde de Grua, considerando um transporte vertical de 9 metros e um transporte horizontal máximo de 30 metros, embora se considere uma Grua com uma lança de 55 metros, ver Figura 5.10.

Colocação no local de aplicação													
Meios	Transporte vertical (m)									+ Horizontal (m)			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	10	20	30
A braço	0,68	1,35	2,03	2,70	3,38	—	—	—	—	—	0,38	0,67	1,02
Corpo 2 Guincho c/charriot de 3 m	0,210	0,420	0,630	0,840	1,050	1,26	1,37	1,68	1,89	2,10	0,27	0,62	0,97
➡ Grua com lança de 30 m	0,025	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25	0,07	0,12	0,17
Bomba de betão	0,03	0,03	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,06	0,075	—	Incluídas		

Figura 5.10- Tabela para Colocação do Betão no Local (adaptado de [1])

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Transporte}}{H \times h} \quad (5.26)$$

$$\leftrightarrow 36,8 \text{ m}^3 \times \frac{(0,075 + 0,17)}{8 \text{ h / diárias}} = 1,13 \text{ dias}$$

Utiliza-se os 4 Cimenteiros da equipa de trabalho no espalhamento e compactação, ver Figura 5.11.

$$Q_{\text{Betão}} \times \frac{\text{Factor Espalhamento e Compactação}}{H \times h} \quad (5.27)$$

$$\leftrightarrow 36,8 \text{ m}^3 \times \frac{1,17}{4 H \times 8 \text{ h / diárias}} = 1,35 \text{ dias}$$

*Aplicação de betão em obra; em H × h/m<sup>3</sup>*  
(lançamento, espalhamento e compactação)  
A estes valores deverá adicionar-se: amassadura elevação e transporte  
(Tabelas próprias)

A OBRA Elementos a betonar	O BETÃO				Observações
	Consistência				
	Seco	Normal	Plástico	Fluido	
Vigas de grande secção	1,15	1,05	0,95	0,85	Neste grupo de trabalhos deverá contar-se com 33% de mão-de-obra especializada
Vigas normais	1,29	1,17	1,06	0,96	
Vigas de pequena secção	4,70	3,92	3,13	2,82	

Figura 5.11- Tabela para Aplicação do Betão (adaptado de [1])

O somatório destas parcelas dá-nos a duração do “Betão”:

$$1,13 + 1,35 = 2,48 \text{ dias} \quad (5.28)$$

Tendo em consideração a ordem de execução e da realização em simultâneo das tarefas, a duração da atividade é de:

$$\text{Armaduras} + \text{Grua} + \text{Betão} \quad (5.29)$$

$$\leftrightarrow 9,04 + 0,34 + 2,48 = 11,86 \text{ dias}$$

Dando origem a um rendimento de:

$$\frac{36,8 \text{ m}^3}{11,86 \text{ dias}} = 3,10 \text{ m}^3/\text{dia}$$

O valor do rendimento fornecido pela empresa é de 3,68 m<sup>3</sup>/dia, que é muito próximo do calculado, devendo-se esta diferença ao facto de não termos o peso da armadura, tendo sido adaptado de uma empresa do ramo respectivamente.

## 5.2 Planeamento da Obra utilizando CCS - Candy

O planeamento do presente caso de estudo, Construção da Estrutura de dois Edifícios, utiliza o software CCS – Candy. O sistema Candy como, referido no capítulo 3, é um software de planeamento muito poderoso, mas de utilização fácil.

Ao iniciar o Candy aparece o Gestor de empresas, onde se organiza por empresa os trabalhos executados. Na obra em estudo, considera-se que é a empresa ISEP que realiza o trabalho, e cria-se a sua pasta de trabalhos no Candy, seguindo os passos representados na Figura 5.12.

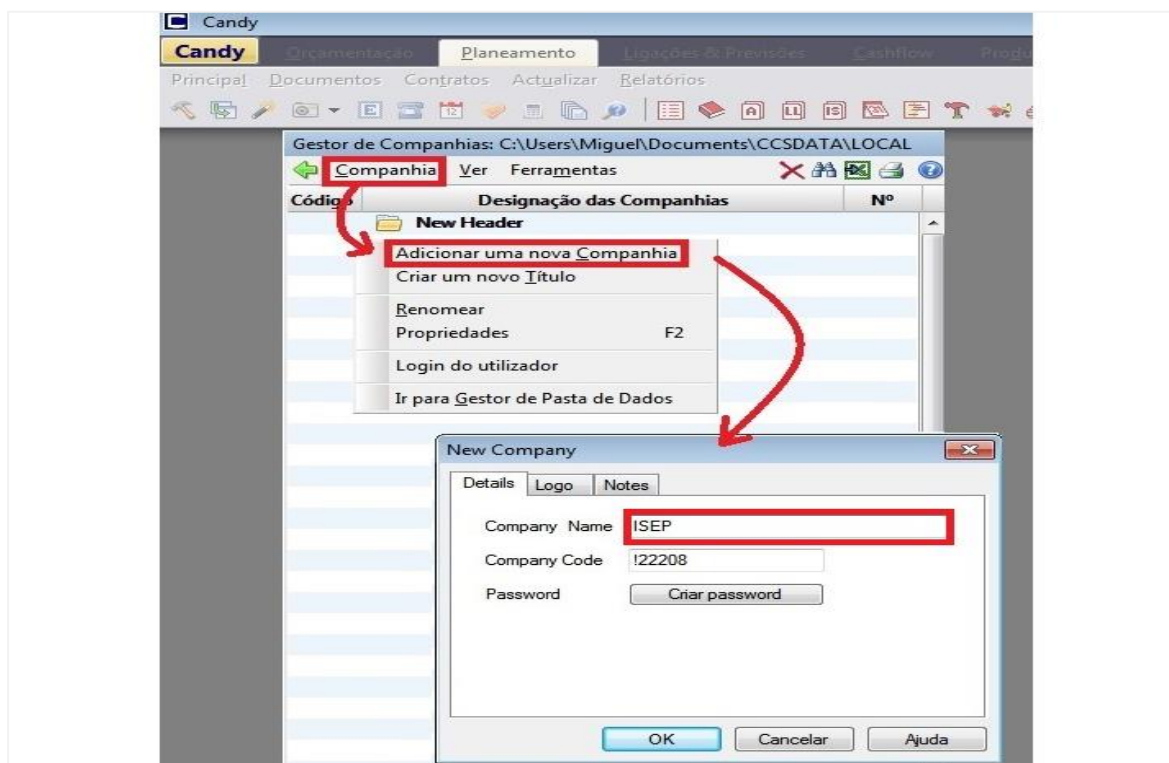


Figura 5.12- Gestor de Empresas no CCS – Candy

Concebida a “Companhia”, ISEP, procede-se à criação da pasta de Trabalhos, Empreendimento Dehaus Garten Residenz, como demonstra a Figura 5.13, onde ficam todos os trabalhos executados dessa obra.

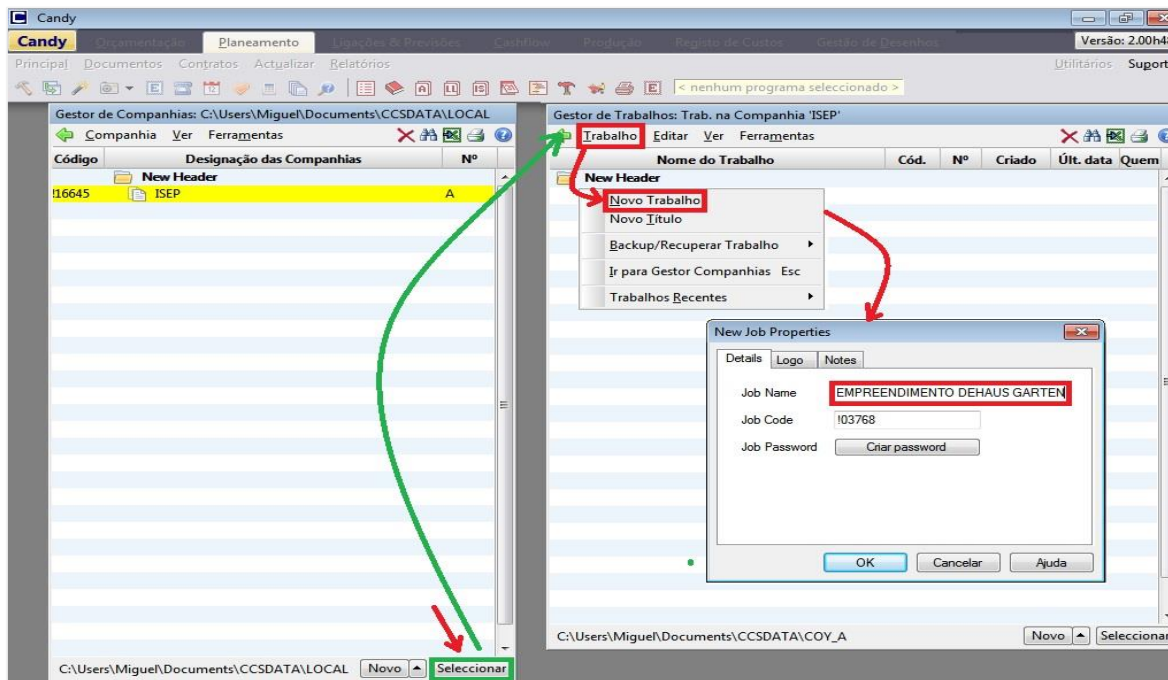


Figura 5.13- Gestor de Trabalhos no CCS – Candy

Executados os passos anteriores, inicia-se o programa de trabalhos, sendo necessário definir as suas características como, nome do programa de trabalhos, data de início dos trabalhos e o número de dias de trabalho por semana, ver Figura 5.14.

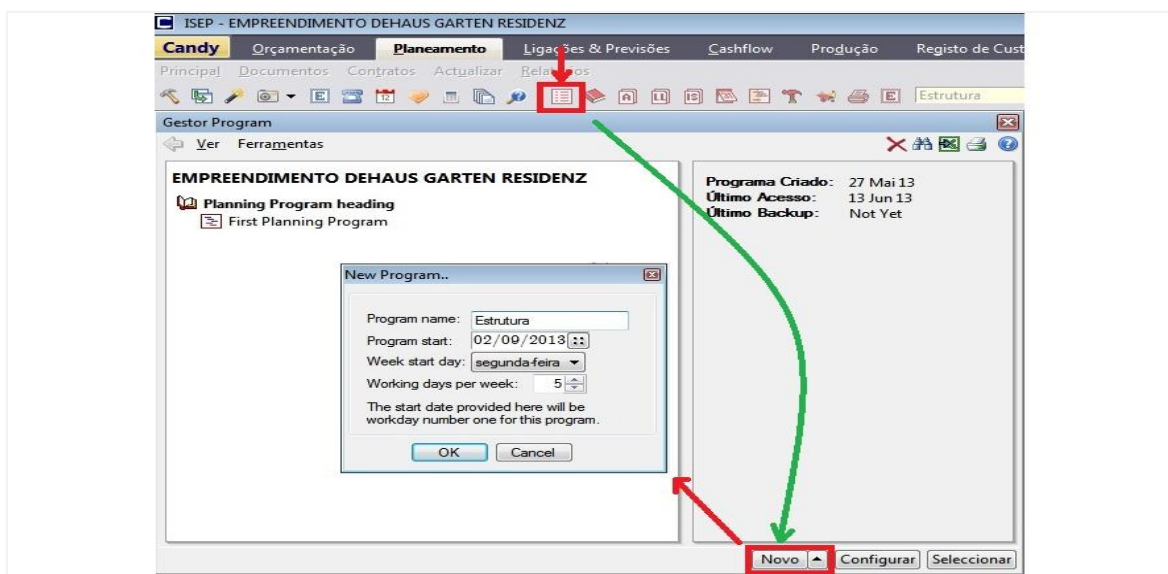


Figura 5.14- Gestor de Programa de Trabalhos no CCS – Candy

O Candy permite, como demonstra a Figura 5.15, criar calendários específicos para cada obra ou atividade. No caso de estudo adoptou-se pelo calendário “PC”, em que as interrupções laborais apenas acontecem aos fins de semana, com exceção de 24 Dezembro a 1 de Janeiro, para festejo natalício e de “Ano Novo”, por opção do planeador.

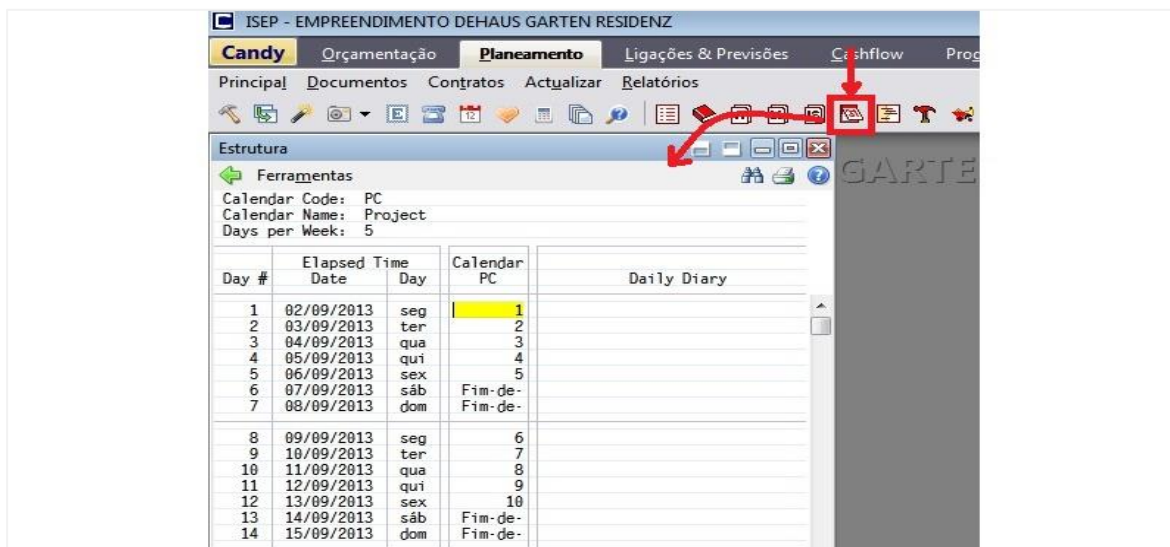


Figura 5.15- Calendário no CCS – Candy

Estabelecidas as características principais do programa de trabalhos, inicia-se o planeamento, utilizando o Gráfico de Barras com sucessoras, como demonstra a Figura 5.16.

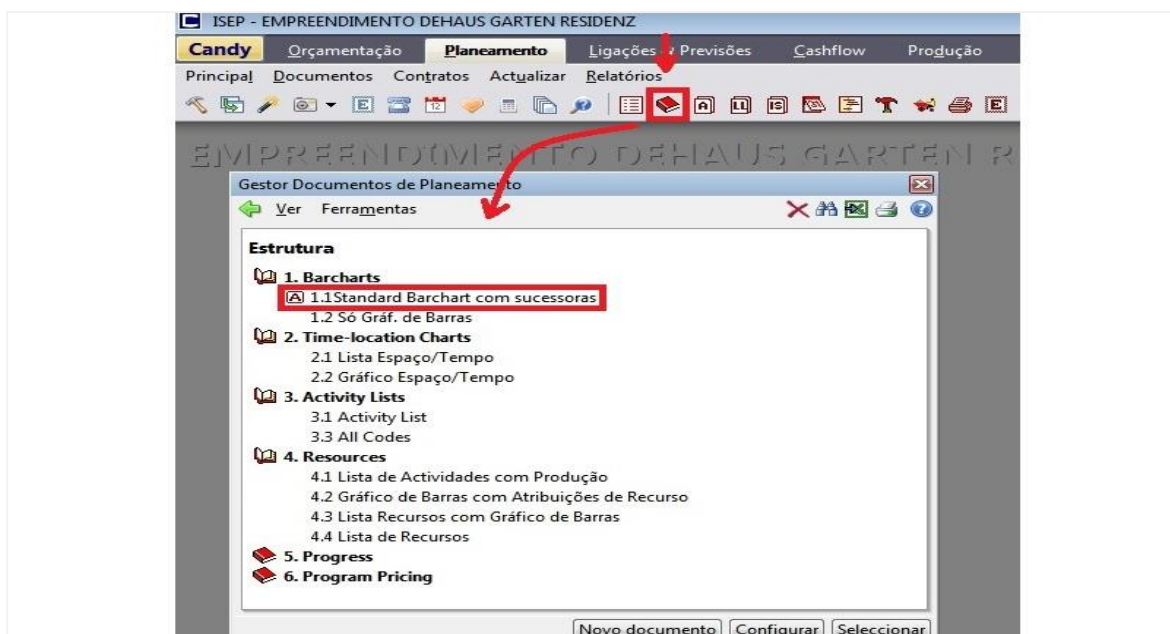


Figura 5.16- Iniciar Planeamento utilizando Gráfico de Barras com Sucessoras

Aberto o documento Gráfico de Barras com Sucessoras, ver Figura 5.17, descreve-se as atividades do programa de trabalhos com, as suas durações, as suas sucessoras e a respectiva tipologia de dependência.

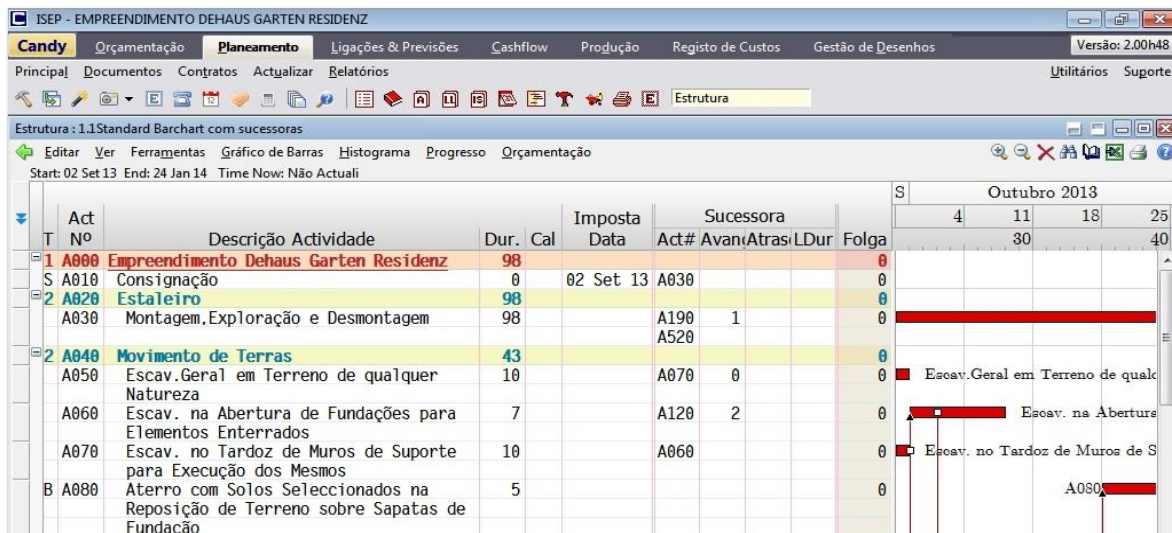


Figura 5.17- Gráfico de Barras com Sucessoras

O sistema Candy dispõe de um ícone “Definição de Recursos”, como demonstra a Figura 5.18, onde se define o nome dos recursos, o seu tipo de utilização, as unidades de medida (por exemplo, areia a unidade de medida pode ser m<sup>2</sup> ou m<sup>3</sup>), o seu custo unitário de utilização e um código a cada recurso utilizado para atribuir os recursos as atividades.

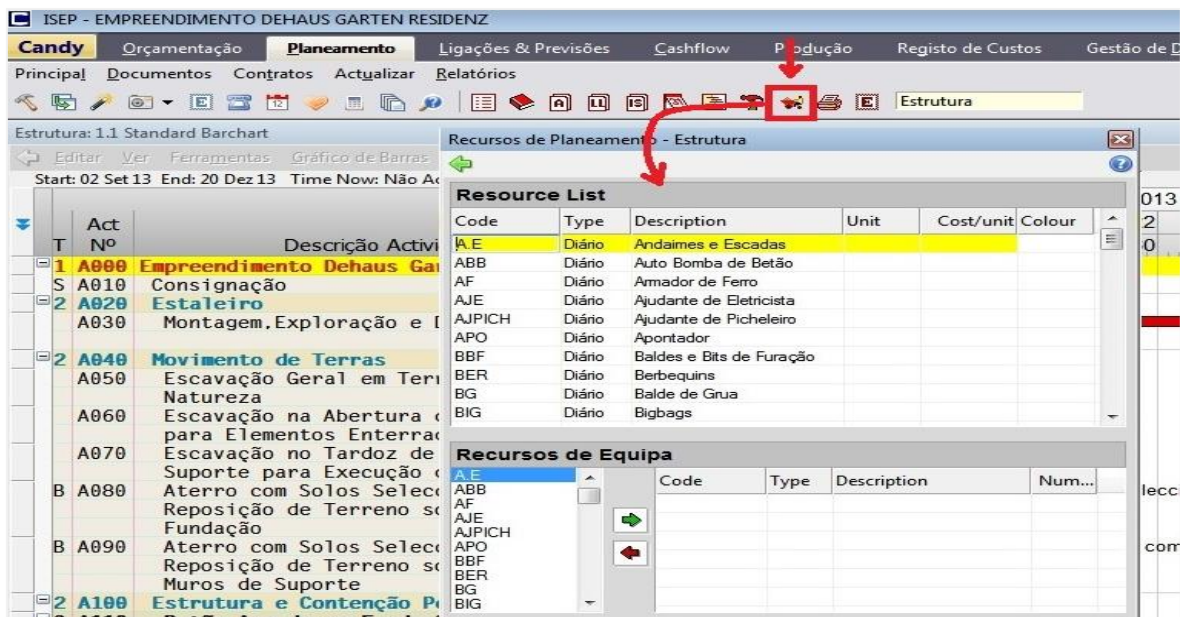


Figura 5.18- Definição dos Recursos do Planeamento

Definidos recursos, para além da necessidade de os atribuir às atividades, existe a necessidade de definir de uma forma mais rigorosa e relevante as atividades para o planeamento, ver Figura 5.19, como:

- As suas Quantidades;
- As suas Unidades de Medida;
- O seu Rendimento de Produção Diária;
- A Quantidade de Recursos necessária a sua execução.

**Estrutura: 4.1 Lista de Actividades com Produção**

Início: 02 Set13 Fim: 20 Dez13 Time Now: Não Actuali

Act T	Nº	Descrição Actividade	Dur.	Produção			Recurso	
				Quantid.	Unid.	RendimEquip	Duração	Código
							GRUA	1
2	A040	Movimento de Terras	41					
	A050	Escavação Geral em Terreno de qualquer Natureza	10	7.550,75	m3	755,08	EGK	2
							CCG	5
							RK	1
							CMD	1
							TCA	1
							M/C	10
	A060	Escavação na Abertura de Fundações para Elementos Enterrados	7	4.636,41	m3	662,34	EGK	2
							CCG	5
							RK	1
							CMD	1
							TCA	1
							M/C	10
	A070	Escavação no Tardoz de Muros de Suporte para Execução dos Mesmos	10	1.891,63	m3	189,16	EGK	2
							CCG	5
							RK	1
							CMD	1
							TCA	1
							M/C	10
B	A080	Aterro com Solos Seleccionados na Reposição de Terreno sobre Sapatas de Fundação	5	3.874,85	m3	774,97	EGK	2
							CCG	5
							RK	1
							CMD	1
							TCA	1
							M/C	10
B	A090	Aterro com Solos Seleccionados na Reposição de Terreno sobre Tardoz de Muros de Suporte	3	1.891,62	m3	662,07	EGK	2
							CCG	5
							RK	1
							CMD	1
							TCA	1

Figura 5.19- Lista de Atividades com Produção

Executado o planeamento, o CCS – Candy permite a criação de relatórios, ver Figura 5.20, relatórios essenciais para a execução da obra e análise do próprio planeamento.

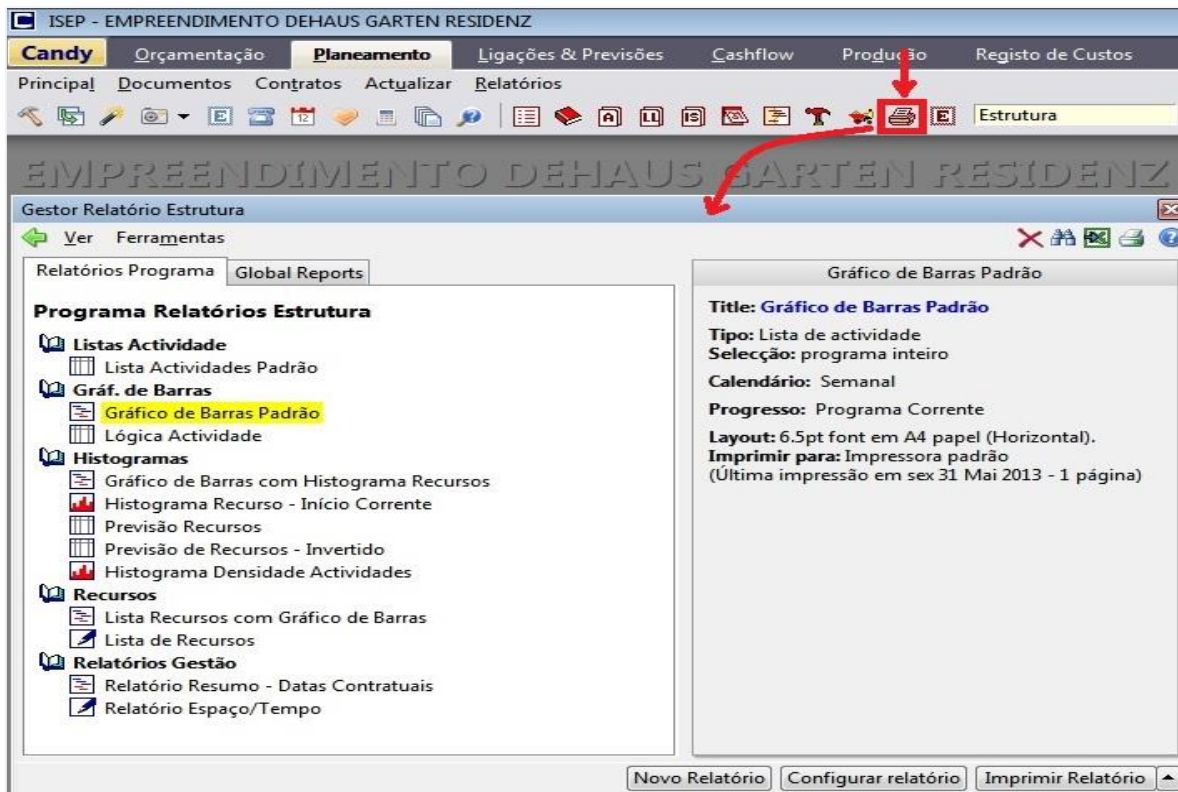


Figura 5.20- Gestor de Relatórios do CCS - Candy

A Figura 5.21, demonstra um pequeno excerto do Gráfico de Gantt do Projeto, ver Anexo 5.2, muito utilizado no planeamento devido à sua fácil interpretação e compreensão, como referido no capítulo 2.

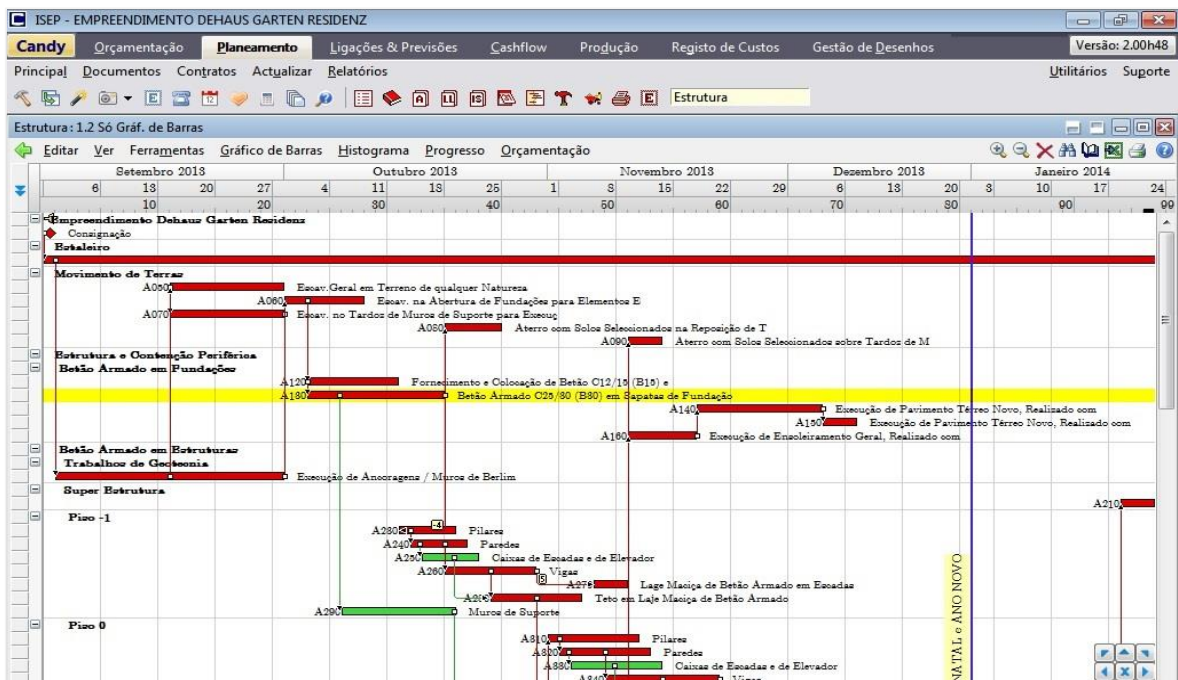


Figura 5.21- Gráfico de Gantt do Project no CCS - Candy

Para além do Gráfico de Gantt, o CCS – Candy também permite a criação da Rede de Precedências (PERT) e do Gráfico Espaço/Tempo (LOB), como mostra o pequeno destacamento representado na Figura 5.22 (ver Anexo 5.3 e Anexo 5.4 respectivamente).

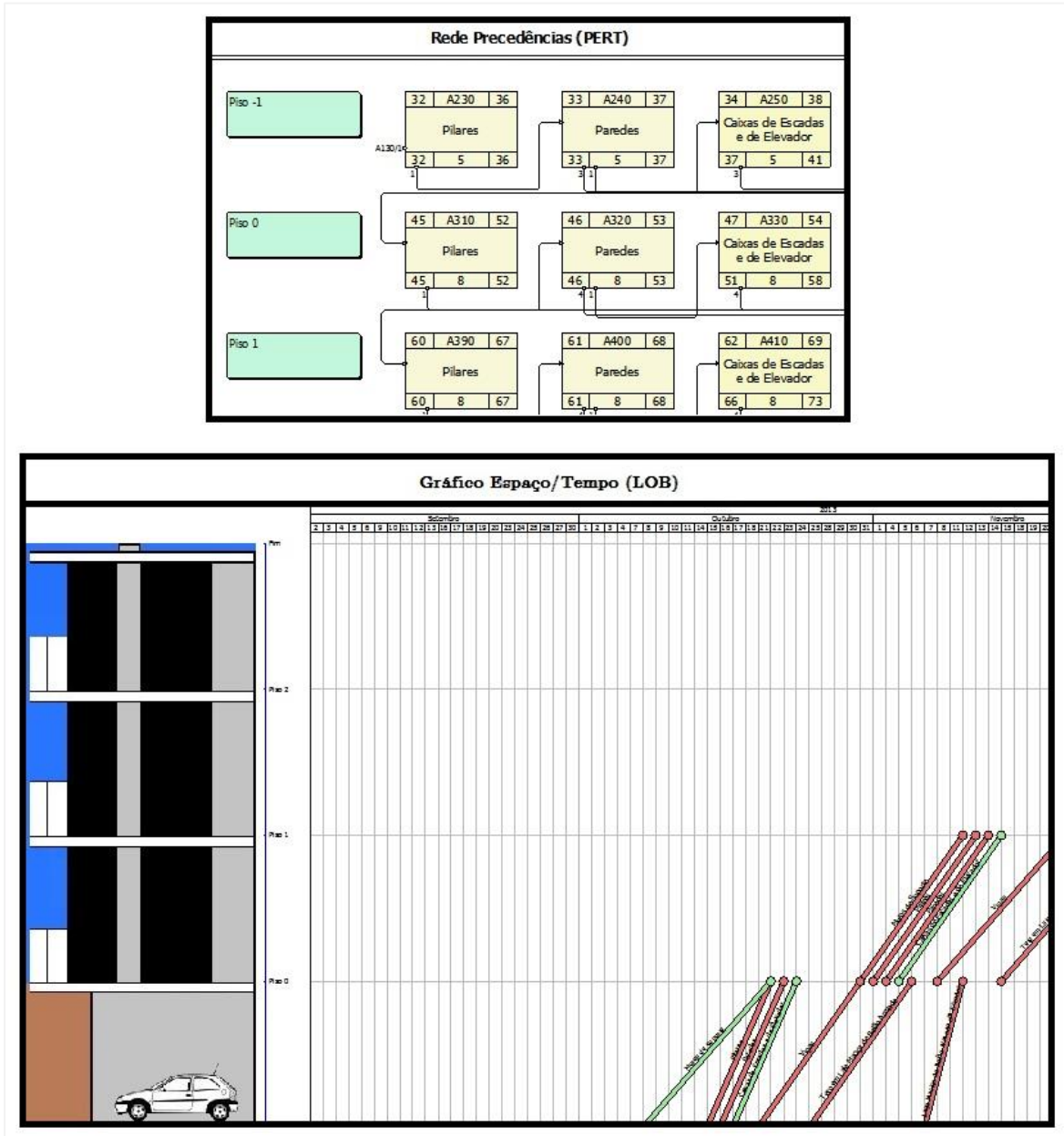


Figura 5.22- Excerto da Rede de Precedências e do Gráfico Espaço/Tempo do Projeto

### 5.3 Conclusões

Neste capítulo realiza-se o planeamento de um Edifício de Habitação no software CCS - Candy.

Para a execução deste planeamento, foi necessário a determinação dos rendimentos, de cada atividade, em função dos recursos envolvidos.

Para a determinação destes rendimentos, recorreu-se às Tabelas de Paz Branco e à consulta de algumas empresas do ramo.

Verificou-se, novamente a dificuldade em obter rendimentos face a bibliografia de consulta em Portugal.

Podemos concluir que no nosso País, a importância da determinação dos rendimentos tem merecido pouca atenção por parte dos técnicos e investigadores da área, face a quase inexistência de bibliografia.

Pode-se também concluir que, o Diagrama Espaço/Tempo tem alguma vantagem, sobre os outros métodos de planeamento, em obras desta tipologia. A sua fácil interpretação, permite a detecção dos conflitos na execução e a determinação do intervalo de tempo necessário à execução de cada atividade em cada secção do projeto, possibilitando assim o ajuste dos ritmos de produção.



## 6. Análise e Discussão dos Resultados

### 6.1 Comparação dos métodos CPM e LOB

O método CPM é mais conhecido e utilizado, pelas empresas de construção civil, do que a metodologia LOB. Devendo-se este facto, à metodologia CPM ser usada como base de desenvolvimento da grande maioria dos softwares de planeamento da construção.

Enquanto o CPM é extremamente eficiente em projetos de natureza não repetitiva, a técnica LOB é mais adequada para projetos de atividades repetitivas.

À medida que o projeto se torna mais complexo, devido às mudanças que ocorrem durante a execução da obra, para além de se tornar difícil a abordagem da rede, também é complicado e demorado a atualização da mesma. [13] Por outro lado, na metodologia LOB é consideravelmente fácil e rápido.

O CPM, como o seu próprio nome indica, tem como principal objectivo a definição do caminho crítico, tornando fácil a análise das consequências causadas pelos atrasos das atividades.

Uma das principais vantagens da técnica LOB é a fácil interpretação da sua representação gráfica, originando uma boa comunicação entre todas as partes envolvidas.

Por sua vez, o CPM permite um maior detalhe das atividades, que facilita a determinação das causas dos atrasos ou das mudanças no planeamento.

## 6.2 Vantagens e desvantagens da utilização CPM vs. LoB

Seguidamente descreve-se algumas das principais vantagens e desvantagens da sua utilização no planeamento de obras: (adaptado de [13])

- CPM vs. Project
  - Principais Vantagens:
    - Permite visualizar as dependências entre atividades;
    - Permite a definição do caminho crítico;
    - Permite a determinação das atividades com folga;
    - Permite uma previsão das datas dos acontecimentos;
    - Permite visualizar a sequência de realização das atividades.
  
  - Principais Desvantagens:
    - Implica um planeamento cuidado, em projetos de grandes dimensões;
    - Torna difícil a análise do planeamento, em projetos de grandes dimensões;
    - Dificulta o acompanhamento e controlo da obra, se houver demasiado detalhe das atividades;
    - Difícil e demorada a atualização das alterações, em projetos complexos.
  
- LOB vs. CCS – Candy
  - Principais Vantagens:
    - Fácil interpretação da sua representação gráfica, originando uma boa comunicação entre todas as partes envolvidas;
    - Permite facilmente a detecção de conflitos na execução;
    - Permite o ajuste dos ritmos de produção, evitando assim conflitos na execução;

- Permite a visualização das atividades a ser executadas em cada secção, por exemplo, as atividades a ser executadas em cada piso;
- Permite a determinação da folga existente na execução das atividades entre secções.

➤ Principais Desvantagens:

- Difícil diferenciar atividades sobrepostas que têm taxas de produção iguais;
- Não permite a visualização das relações de dependência entre atividades;
- A determinação do caminho crítico é muito difícil e apenas se recomenda a sua determinação com recurso a softwares de planeamento.

### 6.3 Conclusões

Analisadas as vantagens e desvantagens das metodologias, pode-se concluir que a técnica LOB é mais adequada para projetos com atividades repetitivas [53], como edifícios residenciais.

Apesar de não mostrar as dependências entre as atividades como o método CPM, destaca-se pela sua fácil interpretação gráfica e facilidade de programação.

Podemos concluir que existem diferenças entre as metodologias ao nível da implementação, que se vocacionam para diferentes tipologias de projeto e, sendo bem implementadas, são uma mais-valia para a construção civil.



## 7. Conclusões e Trabalhos Futuros

### 7.1 Conclusões Gerais

Analisados os presentes casos de estudo e apresentadas as vantagens e desvantagens das técnicas envolvidas, CPM e LOB, conclui-se que utilizar softwares e metodologias adequadas traduz-se na resolução de muitos dos problemas de planeamento na construção civil.

De várias reuniões realizadas com especialistas do sector da construção, transparece a ideia de que o planeamento é uma mera burocracia. Embora exista uma preocupação por parte das mesmas em inovar e tornarem-se mais competitivas no mercado, não têm audácia para utilizar novos métodos, persistem nos métodos usuais.

Também se percebe que a técnica LOB ainda é pouco divulgada no sector da construção português, devendo-se em grande parte, como constatado no capítulo segundo, à existência de poucos softwares eficazes para a sua utilização.

Com o intuito de contribuir para a sua utilização, aplica-se a técnica LOB num caso prático de planeamento elaborado para a construção da estrutura de dois edifícios, com recurso ao software CCS - Candy.

A metodologia LOB revela uma enorme eficácia no planeamento das atividades repetitivas, o mesmo não se pode dizer para as atividades não repetitivas como, montagem e desmontagem do estaleiro, fundações, aterro e escavações. Sendo necessário realizar o seu planeamento à parte, mas o software Candy permite que o planeamento seja efectuado, como podemos constatar no capítulo quinto, juntamente com o das atividades repetitivas.

No primeiro caso de estudo desenvolvido, pretende-se demonstrar o planeamento da construção de uma Ponte com a metodologia CPM, com recurso ao software Project. Destaca-se a importância da determinação do caminho crítico e consequentemente a

determinação das atividades com folgas, uma vez que define o prazo de execução do projeto, bem como a visualização das relações de dependência entre as atividades e a sequência de realização das atividades. Os elementos referidos são essenciais para um melhor planeamento dos recursos, dos custos e para minimizar a duração da realização do projeto.

## 7.2 Trabalhos Futuros

Como principais temas a desenvolver em trabalhos futuros nas áreas referidas nesta dissertação, sugere-se:

- Desenvolver um estudo sobre a forma de conciliar o cumprimento dos prazos com o objetivo de minimizar os custos e utilização de recursos;
- Desenvolver um estudo sobre as metodologias de cálculo de rendimentos, quer de mão-de-obra como de equipamento;
- Desenvolver um estudo sobre as principais interferências do processo construtivo tradicional e as suas influências no desempenho;
- Desenvolver um estudo sobre pavimentação, analisando quais as camadas adequadas para a tipologia de obra, a sua sequência de implementação no terreno e a determinação dos seus rendimentos de aplicação de cada camada.

---

**Referências Bibliográficas**

- [1] – Branco J.P., 1983. Rendimentos de Mão-de-Obra, Materiais e Equipamentos de Construção Civil (Tabelas). Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 260 pp.
- [2] – Dias L.A., Fevereiro de 2012. Organização e Gestão de Obras. Instituto Superior Técnico – IST (Documento de apoio às aulas da disciplina de Organização e Gestão de Obras do Mestrado integrado em Engenharia Civil).
- [3] – Mendes J.J.M., 2003. Sistema de Apoio à Decisão para Planeamento de Sistemas de Produção Tipo Projeto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Tese de Doutoramento apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial). 276 pp.
- [4] – Barros C., 1994. Gestão de Projetos. Edições Sílabo, Lda. 37-128 pp.
- [5] - Patrick C. Construction Project Planning and Scheduling, Pearson Prentice Hall, Columbus, Ohio, 2004. 77-160 pp.
- [6] – Tavares L.V. [et al.], 1996. Investigação Operacional. Editora McGrawHill. 101-151 pp.
- [7] – Faria J.A., 2009/2010. Sebenta Gestão de obras e segurança. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP.
- [8] – Lewis J.P., 1999. Manual Prático da Gestão de Projetos. Edições Probus Publishing Co. Direitos reservados por Edições CETOP, título original “Project Planning. Scheduling & Control”, tradução de Maria Teresa Costa Pinto Pereira.
- [9] - Chuen-Tao L.Y. Aplicaciones Prácticas del Pert y CPM. Ediciones Deusto-Bilbao, direitos de tradução para língua portuguesa reservados por Editorial Pórtico, Lda. 180 pp.
- [10] – pessoas.dps.uminho  
In: [http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap04\\_Project.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap04_Project.pdf) (consultado em 24 de Março de 2013).

[11] – [jnnurm.nic.in](http://jnnurm.nic.in)

In: [http://jnnurm.nic.in/wp-content/uploads/2011/01/RTP\\_MOD-2.4.pdf](http://jnnurm.nic.in/wp-content/uploads/2011/01/RTP_MOD-2.4.pdf) (consultado em 7 de Março de 2013).

[12] – Wysocki R.K., 2012. *Effective Project Management: Traditional, Agile, Extreme*. 6<sup>th</sup> Edition. Editora Wiley Publishing, Inc. 774 pp.

[13] – Ferreira R.C., 2011. *Comparação Aplicada entre as Técnicas de Planeamento CPM e LOB (Line of Balance)*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções). 125 pp.

[14] – Couto J.P. e Teixeira J.C., 1998. *Métodos de Planeamento na Construção Repetitiva em Altura em Portugal - Método das Curvas de Equilíbrio*. Universidade do Minho. (Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Processos de Construção). 207 pp.

[15] – *Lean Construction na Prática – o primeiro blog sobre o tema no Mundo*

In: <http://leanconstruction.wordpress.com/2008/09/04/linha-de-balanco-o-que-e/>

(consultado em 4 de Março de 2013).

[16] – Couto J.P. e Teixeira J.C., 2002. *Método das Curvas de Equilíbrio no Planeamento da Construção Repetitiva em Altura*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. 12 pp.

[17] – [bvsde.paho.org](http://bvsde.paho.org)

In: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/ccxxvii.pdf> (consultado em 19 de Abril de 2013)

[18] – Pinheiro M.B., 2009. *Considerações Gráficas sobre a Ligação entre a Linha de Balanço e o Sistema Toyota de Produção*. Universidade Federal do Ceará (Monografia para Obtenção do Título de Engenheiro Civil).

[19] – Ichihara J.A., 1997. A Base Filosófica da Linha de Balanço. UFSC Campus Universitário - CTC/EPS - Trindade - Florianópolis/SC - CEP 88040-900 (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção). 5 pp.

[20] – egem

In:[http://www.egem.org.br/arquivosbd/basico/0.132499001256814614\\_3.\\_planejamento\\_\\_planos\\_\\_programas\\_e\\_projetos.pdf](http://www.egem.org.br/arquivosbd/basico/0.132499001256814614_3._planejamento__planos__programas_e_projetos.pdf) (consultado em 14 de Abril de 2013)

[21] - Solinat – software para empresas excavaciones obra civil.

In:<http://www.solinat.com/>.htm (consultado em 25 Outubro de 2012).

[22] - Portal GP- Portal de gerenciamento de Projetos.

In: <http://portalgp.blogspot.pt/2007/06/primavera-contractor.html> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[23] - Oracle

In: <http://www.oracle.com/us/primavera-contractor-slideshow-1716310.html> (consultado em 8 de Novembro de 2012)

[24] - File-Extensions.org

In:<http://www.file-extensions.org/primavera-enterprise-project-file-extensions> (consultado em 26 de Outubro de 2012).

[25] - SmartDraw

In: <http://www.smartdraw.com> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[26] - E-Civil

In: [http://www.ecivilnet.com/software/gantt\\_project.htm](http://www.ecivilnet.com/software/gantt_project.htm) (consultado em 25 Outubro de 2012).

[27] - Linuxlinks.com – The Linux Portal

In: <http://www.linuxlinks.com/article/20080315124757759/GanttProject.html> (consultado em 26 Outubro de 2012).

[28] - MacNews Brasil

In: <http://www.macnews.com.br/noticias/item/2006/12/xtime-project> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[29] - Ftparmy.com

In: <http://ftparmy.com/166281-xtime-project.html> (consultado em 26 Outubro de 2012).

[30] - Multiplus- Softwares Técnicos.

In: <http://orcamento.multiplus.com/> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[31] - Cype- Software para Engenharia e construção

In: [http://arquimedes.cype.pt/ampliadas/arquimedes\\_01.htm](http://arquimedes.cype.pt/ampliadas/arquimedes_01.htm) (consultado em 30 Outubro de 2012).

[32] - Engwhere- Softwares de Engenharia.

In: [http://www.engwhere.com.br/planejamento/planejamento\\_projetos\\_obras.htm](http://www.engwhere.com.br/planejamento/planejamento_projetos_obras.htm) (consultado em 25 Outubro de 2012).

[33] - 90t.i- Softwares de Engenharia.

In: <http://www.noventa.com.br/produtos/modulo.php?idModulo=3> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[34] - Beltrame E.S., 2007. Avaliação do software SIENGE no orçamento e planeamento de uma obra. Universidade Federal de Santa Catarina (Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil como parte da avaliação e requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil). 22-29 pp.

[35] - VicoSoftware

In: <http://www.vicosoftware.com> (consultado em 22 de Fevereiro de 2013).

[36] – Sousa H. e Monteiro A. Linha de Balanço – Uma Nova Abordagem ao Planeamento e Controlo na Construção. CD do 2º Fórum Internacional de Gestão da Construção – GESCON 2011: Sistemas de Informação na Construção. Editadas pela Secção de Construções Civas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 27 e28 de Outubro.2011. ISBN. 12 pp.

[37] - BIM

In: <http://www.pontobim.com/2011/03/software-bim.html> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[38] – Sinduscon-Rio- Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio de Janeiro

In:<http://www.sinduscon-rio.com.br/palestras/matec.pdf> (consultado em 25 de Fevereiro de 2013).

[39] - AP4- Project Managers

In: <http://www.ap4projectmanagers.com> (consultado em 25 Outubro de 2012).

[40] – Micro Planning International Ltd

In:<http://www.microplanning.com> (consultado em 23 de Fevereiro de 2013).

[41] - Alves M.C. e Barbot M.J., 2003. Guia Prático Microsoft Project. Porto Editora, obra baseada na versão Microsoft Project 2003. 64 pp.

[42] - TimeLink – Planeamento e Gestão da Construção, Lda.

In: <http://www.timelink.pt> (consultado em 10 de Abril de 2013)

[43] – Jiménez F.E.P., 2010. Manual de Pavimentação. CEPSA – Betumes, 2º Edição em português. 179 pp.

[44] – Mascus Portugal, mercado mundial para equipamento pesado usado.

In:[http://www.mascus.pt/specs/escavadores-de-esteiras\\_971334/caterpillar/330-l-n\\_14732](http://www.mascus.pt/specs/escavadores-de-esteiras_971334/caterpillar/330-l-n_14732) (consultado em 1 de Maio de 2013)

[45] - Mascus Portugal, mercado mundial para equipamento pesado usado.

In: <http://www.mascus.pt/transporte/camioes-de-caixa-basculante/mercedes-benz-actros-2635-6x4/ovnliqhm.html> (consultado em 1 de Maio de 2013)

[46] - [www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br)

In: <http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=concreto-armado> (consultado em 16 de Maio de 2013)

[47] - [seutrabalhoseguro.blogspot.pt](http://seutrabalhoseguro.blogspot.pt)

In: [http://seutrabalhoseguro.blogspot.pt/2010\\_04\\_01\\_archive.html](http://seutrabalhoseguro.blogspot.pt/2010_04_01_archive.html) (consultado em 16 de Maio de 2013)

[48] – [www.liebherr.co.uk](http://www.liebherr.co.uk)

In: [http://www.liebherr.co.uk/AT/en-GB/uk-at/products\\_uk-at.wfw/id-3657-0/layout-PopupTabWide/item-ImageGalleryImage2271\\_29\\_256/measure-metric/print-True/tab-2271\\_29?register=2271\\_29&Registerentryonly=1&ItemID=4](http://www.liebherr.co.uk/AT/en-GB/uk-at/products_uk-at.wfw/id-3657-0/layout-PopupTabWide/item-ImageGalleryImage2271_29_256/measure-metric/print-True/tab-2271_29?register=2271_29&Registerentryonly=1&ItemID=4) (consultado em 1 de Maio de 2013)

[49] – Vögele, 2011. Las extendedoras de la classe Super son siempre la mejor solución (Catálogo das Pavimentadoras Vögele). Wirtgen Group. 12 pp.

[50] – Dynapac Publication no. HHC 1111-2 Eng, Sweden 1989. Compaction and Paving-Theory and Practice. Produced by Business-to-Business Information in Helsingborg AB, Sweden for International High Comp Centre, Karlskrona, Sweden.

[51] – Dynapac, 2008. Compactadores de Pneus/Compactador Estático. Dynapac – Part of Atlas Copco Group. 15 pp.

[52] – [www.dehaus.eu](http://www.dehaus.eu)

In: <http://www.dehaus.eu/> (consultado em 1 de Junho de 2013)

[53] – Arditi e Albulak, Setembro de 1986. Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.112.

---

**Bibliografia**

- Araújo R.A.L., 2008. Planejamento de obra. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Relatório de Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil- Especialização em Vias de Comunicação). 156 pp.
- [www.flickr.com](http://www.flickr.com)  
In: <http://www.flickr.com/photos/rocbolt/3389099828/> (consultado em 1 de Maio de 2013)
- Beltrame E.S., 2008. O uso de softwares no planejamento e orçamentação de obras de engenharia. Universidade Federal de Santa Catarina (Cursando especialização em Gestão de Obras pelo SENAI/SC). 7 pp.
- Arkisoft- Softwares para Engenharia e Arquitetura.  
In: <http://www.arkisoft.com.br/orcamento/presto> (consultado em 25 Outubro de 2012).
- Primasi- Primasi Informática Ltda.  
In: [http://www.primasi.com.br/sipom/video\\_aula/](http://www.primasi.com.br/sipom/video_aula/) (consultado em 25 Outubro de 2012).
- Piniweb  
In: <http://www.piniweb.com.br/empresa/software/volare-128481-1.asp> (consultado em 26 Outubro de 2012).
- Portal GP- Portal de gerenciamento de Projetos  
In: <http://portalgp.blogspot.pt/2007/06/primavera-project-planner-p3.html> (consultado em 26 Outubro de 2012).
- Primasi Sipom  
In: <http://www.primasi.com.br/sipom/manual/sipom.htm> (consultado em 30 de Outubro de 2012)



# Anexos

## Caso de Estudo 1- Construção de uma Ponte (Microsoft Project):

**Anexo 4.1-** Descrição das Atividades

**Anexo 4.2-** Gráfico de Gantt do Projeto

**Anexo 4.3-** Diagrama de Rede (Gráfico de Pert) do Projeto

## Caso de Estudo 2- Construção da Estrutura de dois Edifícios (CCS – Candy):

**Anexo 5.1-** Descrição das Atividades

**Anexo 5.2-** Gráfico de Gantt do Projeto

**Anexo 5.3-** Rede de Precedências (Pert) do Projeto

**Anexo 5.4-** Gráfico Espaço/Tempo (LOB) do Projeto

