

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

APLICAÇÃO DO CONCEITO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO NO  
PLANEJAMENTO DE OBRAS REPETITIVAS. UM LEVANTAMENTO DAS DECISÕES  
FUNDAMENTAIS PARA SUA APLICAÇÃO

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina  
para a Obtenção do grau de Mestre em Engenharia

LUCIA TERESINHA PEIXE MAZIERO

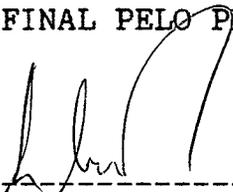
Florianópolis, Setembro de 1990

APLICAÇÃO DO CONCEITO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO NO  
PLANEJAMENTO DE OBRAS REPETITIVAS. UM LEVANTAMENTO DAS DECISÕES  
FUNDAMENTAIS PARA SUA APLICAÇÃO

LUCIA TERESINHA PRIXE MAZIERO

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA FORMA  
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

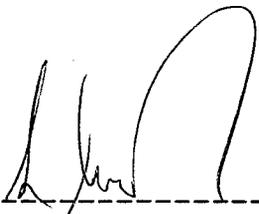


Prof. Luiz Fernando M. Heineck, Ph.D. - ORIENTADOR



Prof. Neri dos Santos, Dr. - COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Luiz Fernando M. Heineck, Ph.D. - PRESIDENTE



Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D.



Prof. Antônio Edésio Jungles, Msc.



01831949

Ao Maziero

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Fernando Heineck pela orientação, interesse e dedicação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelos conhecimentos recebidos.

A funcionária Zelita pela incansável dedicação no transcorrer do período de realização deste trabalho.

A meus pais e a todos que me auxiliaram durante esta caminhada.

Aos amigos que tornaram este período de minha vida uma agradável fase de descoberta de novos valores.

A CAPES, pelo auxílio financeiro que me concedeu.

## SUMARIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii

### CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. OBJETIVO E LIMITAÇÕES .....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO .....	4

### CAPÍTULO 2

#### 2. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE OBRAS

2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO DE OBRAS .....	6
2.2.1. DIAGRAMA DE BARRAS .....	6
2.2.2. MÉTODOS BASEADOS EM REDES .....	9
2.3. O FORMALISMO DA LINHA DE BALANÇO .....	10
2.4. O MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO .....	11
2.4.1. PRINCÍPIOS DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO .....	11
2.4.2. DEFINIÇÃO DO MODELO DE BASE .....	12
2.5. EXTENSÕES DO MODELO DE BASE .....	13
2.5.1. PROGRAMAÇÃO PARALELA .....	13
2.5.2. PROGRAMAÇÃO DE RECURSOS .....	16
2.5.3. COMPARAÇÃO ENTRE PROGRAMAÇÃO PARALELA E PROGRAMAÇÃO DE RECURSOS .....	17

2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO .....	18
2.7. CONCLUSÃO .....	20

### CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO	
3.1. INTRODUÇÃO .....	21
3.2. ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO	22
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DO PROJETO .....	22
3.2.2. DETERMINAÇÃO DA UNIDADE BÁSICA .....	24
3.2.3. CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS .....	25
3.2.4. DETERMINAÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS .....	26
3.2.5. CONSTRUÇÃO DA REDE LÓGICA .....	27
3.2.6. LEVANTAMENTO DA NECESSIDADE DE MÃO DE OBRA ...	28
3.2.7. DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DAS EQUIPES .....	29
3.2.8. DETERMINAÇÃO DAS DURAÇÕES .....	30
3.2.9. DETERMINAÇÃO DO RÍTMO DE TRABALHO .....	32
3.2.10. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE MULTIPLICAÇÃO DE RECURSOS .....	34
3.2.11. DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ATAQUE A OBRA .	36
3.3. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE TOTAL NECESSÁRIA DE RECURSOS .....	38
3.4. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE RECURSOS IMPRODUTIVOS	42
3.5. TRAÇADO DO GRÁFICO DA LINHA DE BALANÇO .....	45
3.6. CONCLUSÃO .....	45

## CAPÍTULO 4

4. ESTUDO DE CASOS .....	46
4.1. ESTUDO DE CASO 1 .....	47
4.2. ESTUDO DE CASO 2 .....	66
4.3. ESTUDO DE CASO 3 .....	81
4.4. ESTUDO DE CASO 4 .....	98

## CAPÍTULO 5

5.1. RESUMO DAS ANÁLISES EFETUADAS .....	116
5.2. CONCLUSÃO .....	116
5.3. CONCLUSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO .....	117
5.4. RECOMENDAÇÕES PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	118
5.5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	118

BIBLIOGRAFIA .....	120
--------------------	-----

APENDICE .....	126
----------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Diagrama de barras .....	7
FIGURA 2	Gráfico de Gantt com barras interligadas e diagrama de recursos .....	8
FIGURA 3	Gráfico das quantidades em relação ao tempo .....	12
FIGURA 4	Rede lógica .....	14
FIGURA 5	Linha de liberação das unidades concluídas .....	15
FIGURA 6	Linha de liberação dos recursos iniciais .....	15
FIGURA 7	Linha de balanço pela programação paralela .....	15
FIGURA 8	Linha de balanço pela programação de recursos .....	16
FIGURA 9	Linha de balanço pela programação de recursos .....	17
FIGURA 10	Tempo de espera .....	18
FIGURA 11	Fluxograma de aplicação do método da linha de balanço .....	23
FIGURA 12	Ritmo de trabalho para conclusão da obra no prazo estabelecido .....	33
FIGURA 13	Número de equipes .....	34
FIGURA 14	Determinação do número de equipes .....	35
FIGURA 15	Demanda de operários .....	40
FIGURA 16	Base equivalente do histograma .....	40
FIGURA 17	Tempo de espera de uma equipe numa operação .....	43
FIGURA 18	Rede linear, sem operações em paralelo - estudo de caso 1 - rede 1 .....	50
FIGURA 19	Rede com operações em paralelo - estudo de caso 1 - rede 2 .....	51
FIGURA 20	Rede com operações agrupadas - estudo de caso 1 - rede 3 .....	52
FIGURA 21	Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 1	63

FIGURA 22 Rede linear, sem operações em paralelo	
- estudo de caso 2 - rede 1 .....	68
FIGURA 23 Rede com operações em paralelo	
- estudo de caso 2 - rede 2 .....	69
FIGURA 24 Rede com operações agrupadas	
- estudo de caso 2 - rede 3 .....	70
FIGURA 25 Esquema de ataque à obra .....	74
FIGURA 26 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 2	77
FIGURA 27 Rede linear, sem operações em paralelo	
- estudo de caso 3 - rede 1 .....	84
FIGURA 28 Rede com operações em paralelo	
- estudo de caso 3 - rede 2 .....	85
FIGURA 29 Rede com operações agrupadas	
- estudo de caso 3 - rede 3 .....	86
FIGURA 30 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 3	92
FIGURA 31 Rede linear, sem operações em paralelo	
- estudo de caso 4 - rede 1 .....	100
FIGURA 32 Rede com operações em paralelo	
- estudo de caso 4 - rede 2 .....	101
FIGURA 33 Rede com operações agrupadas	
- estudo de caso 4 - rede 3 .....	102
FIGURA 34 Estratégia de ataque do serviço estrutura .....	105
FIGURA 35 Número de jogos de formas necessários .....	106
FIGURA 36 Esquema da linha de balanço do estudo de caso 4 ...	106
FIGURA 37 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 4	113

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 Dados para as redes 1 e 2 ..... 53

QUADRO 2 Dados para a rede 3 ..... 54

QUADRO 3 Resultados do estudo das redes 1 e 2 ..... 58

QUADRO 4 Resultados do estudo da rede 3 ..... 59

QUADRO 5 Resultados do estudo da rede 1 ..... 60

QUADRO 6 Resultados do estudo da rede 2 ..... 61

QUADRO 7 Resultados do estudo da rede 3 ..... 62

## RESUMO

O Método da Linha de Balanço é utilizado no planejamento, programação e controle de obras repetitivas.

A presente dissertação visa propor uma metodologia de aplicação do Método da Linha de Balanço que fornece melhorias no planejamento e realização da obra.

Esta metodologia é desenvolvida através da determinação das principais variáveis de estudo, como exemplo, o tamanho da unidade de repetição, a duração, o número de grupos de trabalho e a forma da rede lógica.

Foram analisados quatro tipos diferentes de obras, através de estudo de casos. Nestes, observou-se a variação dos recursos necessários à execução da obra e do tempo de conclusão da mesma, através de diversas combinações entre as variáveis.

O presente trabalho conclui, de acordo com os estudo de casos, que a menor necessidade de recursos é obtida quando se trabalha com duração das operações grandes, equipes de tamanho pequeno, forma da rede linear e ritmos de trabalho elevados.

## ABSTRACT

This research work deals with the application of the Line of Balance Scheduling Techniques to housing construction sites.

A methodology for its application is proposed. A number of key planning and programming variables are identified, as for example the size of the repetitive unit, the duration and number of crews assigned to each activity, the sequence of work throughout the site and the shape of the programming network (linear networks or overlapping ones).

Four different building sites were analysed, ranging from a purely repetitive low-rise (one storey), to a high-rise apartment building. For each one simulations were carried out, investigating the influence of the duration of activities, shape of network and on the total amount of unproductive labour hours.

The dissertation concludes by pointing out that according to the 4 housing projects under investigation, the minimum amount of non-productive time was obtained with large durations of activities, small crews, linear networks and high rhythms of work.

## CAPÍTULO 1.

### 1.1 INTRODUÇÃO.

A necessidade de reduzir tempo e custo e aumentar o controle do andamento da obra, aumentando assim a confiabilidade dos resultados, impõe como meta para a indústria da construção civil o planejamento, a programação e o controle da obra, através da integração das diversas operações do processo de produção. Esta integração é garantida pela existência de Métodos de Planejamento que permitem melhorias substanciais em termos do desempenho global.

O planejamento da construção pode ser exposto como um processo administrativo de definição da estratégia e método, isto é, a definição do progresso da obra e sua realização. O planejamento envolve um conjunto de decisões que definem a montagem do problema a ser programado e em instruções de como realizar e manter o progresso em obra.

A programação é a ordenação estruturada do problema e deve fornecer o intervalo de tempo para a realização de cada operação da obra.

O controle é a análise de desempenho do programa. Ele deve indicar a situação de qualquer operação em qualquer etapa do projeto.

Um método de planejamento, programação e controle é necessário para evitar a inconveniente tomada de decisão ao acaso. A escolha de ações e soluções que são adotadas emergencialmente, são motivadas pelas circunstâncias próprias dos trabalhos e pelo surgimento de problemas no dia a dia da obra.

Um propósito do planejamento de obras é minimizar a quantidade de recursos necessários, de modo a reduzir os custos de produção. Planeja-se a obra para concluí-la no menor espaço de tempo com economia, o que não necessariamente corresponde ao tempo mínimo de construção.

Os métodos de planejamento conhecidos, para as obras em geral, são o Diagrama de Barras e as Redes PERT/CPM.

Quando se trata de obras especificamente repetitivas é recomendável explorar a simplificação advinda da repetitividade dos serviços necessários à execução de cada unidade do programa. Para isso o Método da Linha de Balanço (LB) é utilizado.

A Linha de Balanço é um método que permite fechar o ciclo de planejamento, programação e controle, sem que se perca a operacionalidade necessária, permitindo também uma aplicação rápida sem aumento no custo do processo de coordenação da obra.

A aplicação do Método da Linha de Balanço resulta em uma ordenação estruturada do problema, a qual fornece uma forma de apresentação dos resultados do planejamento e da programação com clareza e facilidade de entendimento, transmitindo com simplicidade informações a respeito do tempo e posicionamento do trabalho em obra.

O Método da Linha de Balanço facilita a análise de desempenho do programa, indicando a situação de qualquer operação em qualquer etapa do desenvolvimento do projeto, possibilitando assim, a comparação dos estágios reais de execução dos trabalhos com o que foi programado e permitindo alterações no programa devido a atrasos e imprevistos.

## 1.2 OBJETIVO E LIMITAÇÕES.

O objetivo central deste trabalho é determinar o caminho pelo qual a aplicação do Método da Linha de Balanço fornece melhorias estratégicas e táticas na obra, ou seja, melhorias no planejamento e no processo de realização da obra. Com este objetivo deseja-se determinar uma metodologia convidativa ao usuário.

Na aplicação do Método da Linha de Balanço observa-se que muitos fatores influenciam no resultado final do planejamento. Estes fatores, os quais são tratados como variáveis de estudo e serão analisados nos próximos capítulos, não são considerados em sua maioria nos processos otimizadores apresentados na literatura.

Neste sentido, estudar-se-á a determinação de cada variável analisando-se a influência destas nos resultados da programação, quando o Método da Linha de Balanço é aplicado em diferentes tipos de obras habitacionais repetitivas.

Observar-se-á a variação dos recursos necessários à execução da obra e do tempo de conclusão da mesma, através das diversas possibilidades de combinações entre as variáveis.

O Método da Linha de Balanço é aplicado unicamente a construção repetitiva, ou seja, para aqueles projetos que podem ser divididos em seções que possuem características semelhantes.

Neste trabalho será considerado apenas as obras habitacionais, deixando de incluir obras industriais, especiais (pontes) e projetos lineares, como rodovias e obras de saneamento.

Quanto ao empreendimento, o método atinge as fases de projeto, planejamento, programação, controle e manutenção das obras repetitivas.

Neste trabalho, estudar-se-á apenas as fases de planejamento e programação, as quais no Método da Linha de balanço resultam em um exercício único.

A aplicação do método limita-se a atingir as operações repetitivas desenvolvidas ao longo do projeto, ou seja, não atingir obras específicas. Estas obras específicas podem ser planejadas por outros métodos ou pela própria Linha de Balanço.

Este trabalho tem como pressuposto que as durações das operações são determinísticas.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO.

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

- no capítulo 1 apresenta-se a introdução ao assunto, objetivo e limitações do trabalho;
- no capítulo 2 introduz-se o Método da Linha de Balanço, sua definição formal e suas principais extensões;
- no capítulo 3 apresenta-se uma metodologia para a aplicação do Método da Linha de Balanço. São definidas as etapas e procedimentos de aplicação do método;
- no capítulo 4 encontram-se as aplicações da metodologia em estudos de casos de vários tipos de obras repetitivas;
- no capítulo 5 estão as conclusões do trabalho, bem como sugestões para outros trabalhos nesta área.

## CAPÍTULO 2.

### 2. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE OBRAS.

#### 2.1. INTRODUÇÃO

Para que os benefícios de um planejamento sejam encontrados, o método utilizado deve ser apropriado a situação. O grau de detalhes que o programa fornece deve coincidir com as necessidades do usuário.

Quando trata-se de um projeto repetitivo a aplicação do Método da Linha de Balanço deve ser considerada, pois nestes projetos o Diagrama de Barras não fornece informações suficientes e a complexidade das Redes PERT/CPM é ampliada com a repetição da informação.

Durante a fase de planejamento, o Método da Linha de Balanço fornece uma simples, mas eficiente ferramenta para programar a ordenação e liberação dos recursos (pessoal, materiais e equipamentos) para a sua utilização e fornece um meio de determinar o tamanho dos grupos necessários para qualquer razão de construção.

Como controle, durante o estágio de construção, sua função é detectar os distúrbios no programa, prever o efeito provável destes distúrbios no trabalho subsequente e determinar a intensidade das medidas corretivas que podem ser necessárias para encontrar o objetivo do programa original (LUMSDEN 68).

Um trabalho repetitivo é aquele constituído de um conjunto de operações, as quais em sequência, serão repetidas várias vezes durante o projeto.

Como exemplos de obras repetitivas tem-se os seguintes projetos:

- conjuntos habitacionais de casas, onde a unidade de repetição é a casa;
- conjunto habitacional de edifícios, no qual a unidade de repetição pode ser o bloco de edifício ou cada pavimento;
- edifícios isolados de elevada e pequena altura. Nestes, a unidade de repetição é um pavimento ou parte dele;
- pontes, onde a repetição apresenta-se em cada conjunto de fundação, pilar, viga e laje;
- projetos lineares como rodovias, oleodutos e sistema de distribuição de água, a repetição do trabalho ocorre na extensão linear, ou seja, na unidade de medida.

## 2.2. METODOS DE PROGRAMAÇÃO DE OBRAS.

Existem vários métodos de monitoração e programação das operações de um projeto, os quais variam desde o simples Diagrama de Barras à Redes CPM, passando à análises de redes probabilísticas como o PERT. Estes métodos não são adequados para a programação de obras repetitivas.

### 2.2.1. DIAGRAMA DE BARRAS.

Este método, também chamado de Gráfico de Gantt, é o mais simples método de planejamento. O Diagrama de Barras plota graficamente operações versus tempo. As operações são listadas verticalmente e quando possível em ordem sequencial. O período de

tempo proposto para execução de cada operação é plotado como uma barra no gráfico do tempo.

O nível de detalhes na escala das operações, bem como na escala do tempo, depende do interesse do usuário.

O Diagrama de Barras é utilizado devido a sua facilidade de execução, entretanto não mostra as sequências e interdependências entre operações, ou seja, indica quando as operações estão atrasadas em relação ao programa, mas não indica o efeito deste atraso na conclusão do projeto ou das unidades do projeto (CARR 74).

O Diagrama de Barras pode ser usado no controle de progresso da obra. As barras são divididas em duas partes. Uma parte representa o tempo programado e na outra é marcado o progresso da obra.

A FIGURA 1 mostra um diagrama de barras típico, no qual o tempo atual é o dia 7. As barras preenchidas representam o tempo programado e a barra achuriada representa o trabalho executado. As operações A e C estão 100% concluídas, enquanto que a operação B está 85% concluída.

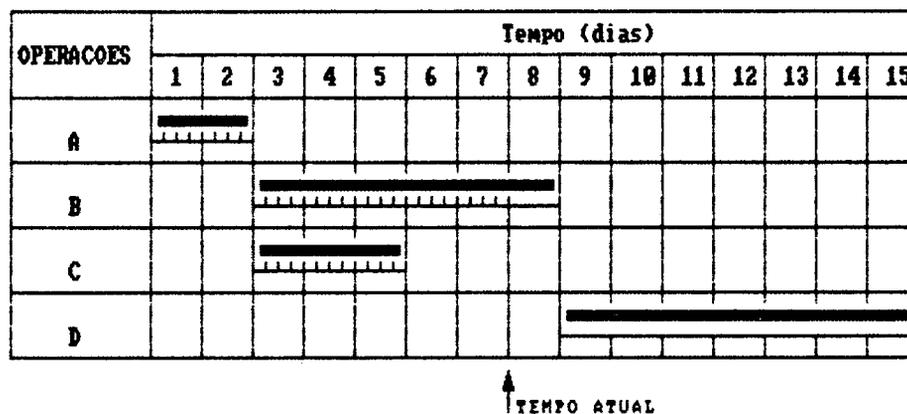


FIGURA 1 Diagrama de barras.

O Gráfico de Gantt, com barras interligadas mostra a interdependência entre as operações. Esta ilustração de dependência permite uma análise de como os atrasos interferem nas operações sucessoras e o tempo disponível para cada operação (FIGURA 2).

Na FIGURA 2 a operação C inicia no dia 2 e está programada para finalizar no dia 5, mas esta interferirá na operação sucessora somente no dia 8. Esta operação possui tempo disponível, onde um atraso de 3 dias não afetará a próxima operação. A operação B não possui tempo disponível, portanto não pode atrasar. Esta operação é chamada de operação crítica.

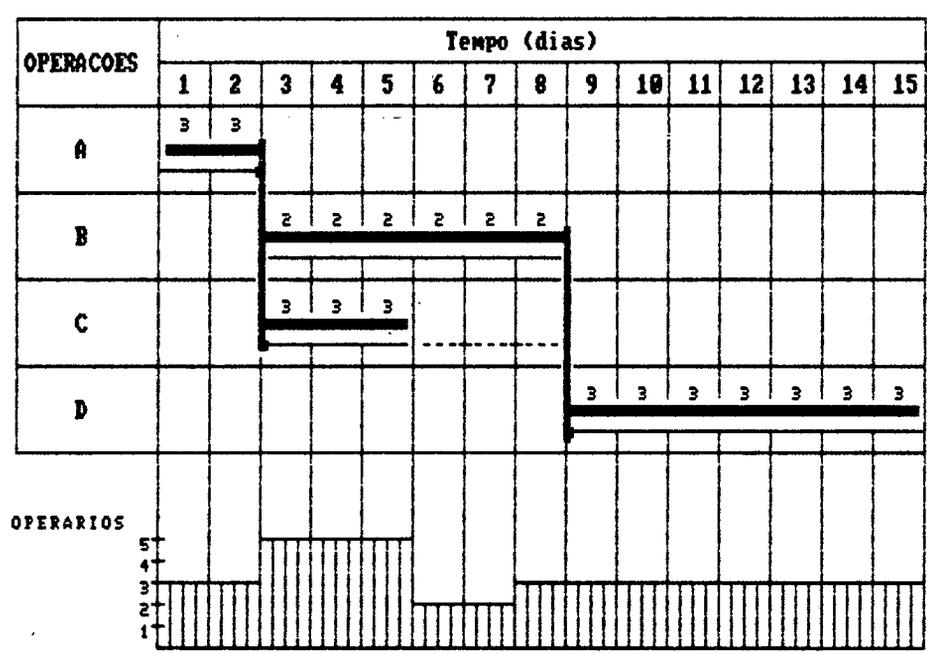


FIGURA 2 Gráfico de Gantt com barras interligadas e diagrama de recursos.

O Diagrama de Barras pode apresentar a necessidade de recursos do projeto, o qual é chamado de Diagrama de Recursos. Conforme mostra a FIGURA 2, os recursos são operários, mas pode-

se representar cada profissional específico, como carpinteiros, pedreiros e armadores ou equipamentos como guindastes.

O Diagrama de Barras é útil como um complemento de outras técnicas por razões de inteligibilidade ou como um plano preliminar de estimativa (STRADAL 82).

### 2.2.2. MODELOS BASEADOS EM REDES.

Os métodos baseados em redes, tais como CPM (Critical Path Method) e PERT (Project Evaluation and Review Technique) são aplicáveis a obras com necessidade de mais detalhamento do que aquelas em que se aplica o Diagrama de Barras.

As redes usam flechas e nós para representar a construção das operações e suas relações.

Os métodos CPM e PERT representam as operações como sendo discretas, ou seja, a próxima operação inicia quando a atual é concluída. No entanto, em alguns projetos a sequência das operações é contínua (JOHNSTON 81).

A Rede CPM é um modelo de rede utilizada em projetos logicamente determinísticos e consiste de operações que assumem características determinísticas. A Rede CPM ilustra claramente a sequência lógica das operações. As dependências e durações estimadas são usadas para determinar o tempo necessário para conclusão do projeto.

A principal desvantagem da Rede CPM em obras repetitivas é tornar-se extremamente detalhada com a repetitividade e de difícil execução e entendimento para um usuário não treinado.

### 2.3 O FORMALISMO DA LINHA DE BALANÇO.

O Método da Linha de Balanço foi desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos em 1942. Sua aplicação inicial foi na indústria manufatureira, no controle da produção com o objetivo de encontrar uma razão de produção na linha de fluxo de produtos acabados (JOHNSTON 81).

Sua aplicação foi expandida para a construção civil devido aos empreendimentos de natureza repetitiva identificarem-se com as linhas de produção da indústria manufatureira.

Hoje o método apresenta muitas variações, as quais são baseadas nos mesmos princípios, possuindo também diferentes nomes, entre eles:

- Line of Balance Schedules (LUMSDEN 68, CARR 74, ARDITI 86, TRIMBLE 84, ASHLEY 80, FASSIN 81);
- Vertical Production Method - VPM (O'BRIEN 75);
- Linear Scheduling Method - LSM (JOHNSTON 81, RUSSELL 88);
- Time Space Scheduling Method (STRADAL 82);
- Velocity Diagrams (ROESCH);
- Time Velocity Diagrams (DRESSLER 74);
- Flow Charts (FORBES 71);
- Flow Line Method (COLE 77);

ARDITI 86 cita em seu trabalho outros nomes dados ao Método da Linha de Balanço, tais como:

- Cascade Networks (Rist, P.T.);
- Construction Management System (Anderson, H., Fjosne, A. and Solberg, O. e Pedersen, H.);
- Combined PERT/LOB (Harbert, J.A. e Schoderbek, P.P. and Digman, L.A.).

## 2.4. O MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO

O Método da Linha de Balanço é baseado no fato que toda construção tem um ritmo natural, no qual ela será construída. Qualquer desvio deste ritmo resulta em homens e tempo perdidos (LUMSDEN 68).

O Método da Linha de Balanço é orientado para a conclusão das unidades, ou seja, o diagrama da Linha de Balanço é usado para programar a conclusão das unidades acumuladas (LUMSDEN 68).

A base do Método da Linha de Balanço é determinar os recursos necessários para cada operação de modo que as operações seguintes não sofram interferências e que uma razão de construção seja obtida.

### 2.4.1. PRINCÍPIOS DO MÉTODO

Os princípios do Método da Linha de Balanço são:

- determinar uma razão de produção, baseada na relação entre o número de unidades a serem construídas e o tempo de construção das mesmas;
- manter este ritmo de trabalho constante;
- manter a movimentação de mão de obra e equipamentos contínuos;
- tirar benefícios da repetitividade do trabalho.

2.4.2. DEFINIÇÃO DO MODELO DE BASE.

Desde que a razão de construção é constante, a relação entre o número de unidades de repetição e a data de conclusão das mesmas é linear.

As quantidades da Linha de Balanço representam as unidades de repetição e estão relacionadas com o tempo.

A equação que define a Linha de Balanço pode ser comparada com a equação de uma reta (FIGURA 3).

Para um dado ritmo de trabalho tem-se (EQUAÇÃO 1):

$$Q = R * t + c$$

1

onde:

Q = quantidade da Linha de Balanço (unidades);

t = tempo no qual se deseja conhecer o número de unidades;

R = ritmo de trabalho;

c = constante (intersecção da reta com o eixo Q);

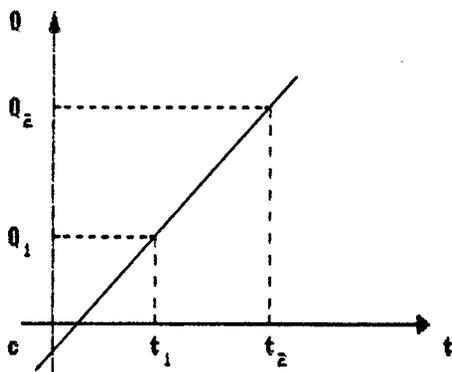


FIGURA 3 Gráfico das quantidades em relação ao tempo.

Com a FIGURA 3 determina-se as quantidades da Linha de Balanço para os instantes  $t_1$  e  $t_2$  (EQUAÇÕES 2 e 3):

$$Q_1 = R * t_1 + c \quad 2$$

$$Q_2 = R * t_2 + c \quad 3$$

Relacionando-se as EQUAÇÕES 2 e 3 obtém-se:

$$t_2 = t_1 + (Q_2 - Q_1) / R \quad 4$$

$$Q_2 = R * (t_2 - t_1) + Q_1 \quad 5$$

Conhecendo-se  $Q_1$ ,  $t_1$  e o ritmo necessário, a EQUAÇÃO 5 fornece a quantidade de unidades que deve ser atingida no instante  $t_2$ . Nota-se que  $R$  é dado em unidades/tempo.

## 2.5. EXTENSÕES DO MODELO DE BASE.

Há dois métodos de programação da Linha de Balanço: a Programação Paralela e a Programação de Recursos.

Os dois métodos possuem as mesmas características, o que os diferenciam é o prazo de conclusão da obra e a determinação do ritmo de trabalho.

### 2.5.1. PROGRAMAÇÃO PARALELA.

O princípio da Programação Paralela é a determinação de um ritmo único para todas as operações.

Na Programação Paralela, o prazo de conclusão das unidades é fixado. Em função deste prazo, do número de unidades a serem construídas e do tempo de construção destas unidades, determina-se o ritmo de construção.

Para exemplificar, considera-se um projeto simplificado de construção de 10 casas, a ser realizado num prazo de 20 semanas. Cada casa é composta por 3 operações, estrutura, alvenaria e cobertura.

As relações entre as operações são mostradas em uma rede lógica, conforme a FIGURA 4.

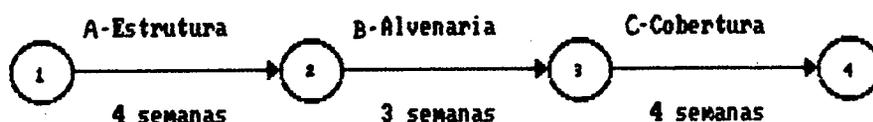


FIGURA 4 Rede lógica.

Com as durações das operações para construção de 1 unidade, determina-se o ritmo necessário para a construção das 10 unidades no período de 20 semanas, o qual é 1 casa por semana.

A FIGURA 3.5 mostra a linha de liberação das unidades concluídas. Paralelamente a esta pode-se traçar a linha de liberação de recursos iniciais, mostrada na FIGURA 4.4

Tem-se, assim, duas linhas que descrevem os limites externos de tempo. Entre estas, traçam-se as linhas das operações conforme os tempos indicados na rede lógica. Estas linhas representam os tempos de liberação de recursos para cada operação e comprometimento dos recursos para as operações seguintes (FIGURA

Os recursos considerados são as equipes de profissionais responsáveis pela execução da operação. Para a operação A são necessárias 4 equipes, para a operação B 3 equipes e para a operação C 4 equipes.

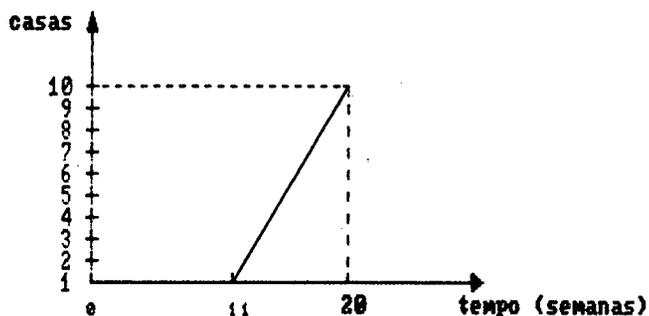


FIGURA 5 Linha de liberação das unidades concluídas.

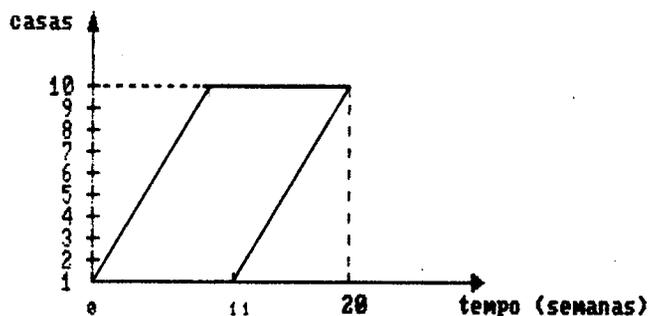


FIGURA 6 Linha de liberação dos recursos iniciais.

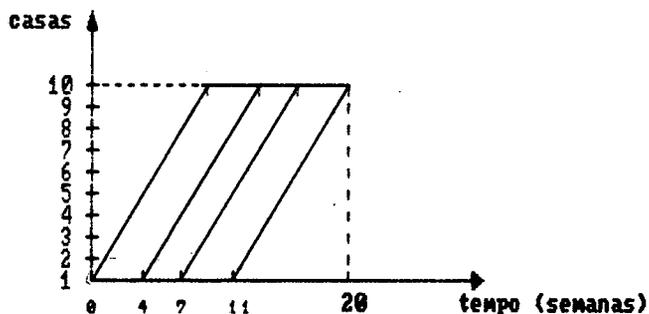


FIGURA 7 Linha de balanço pela programação paralela.

### 2.5.2. PROGRAMAÇÃO DE RECURSOS.

Na Programação de Recursos as operações ocorrem segundo o seu ritmo natural.

O ritmo natural é determinado em função da duração da operação. Portanto, para cada operação obtém-se um ritmo.

Considerando-se o mesmo exemplo dado na Programação Paralela, obtém-se o seguinte gráfico da Linha de Balanço (FIGURA 8).

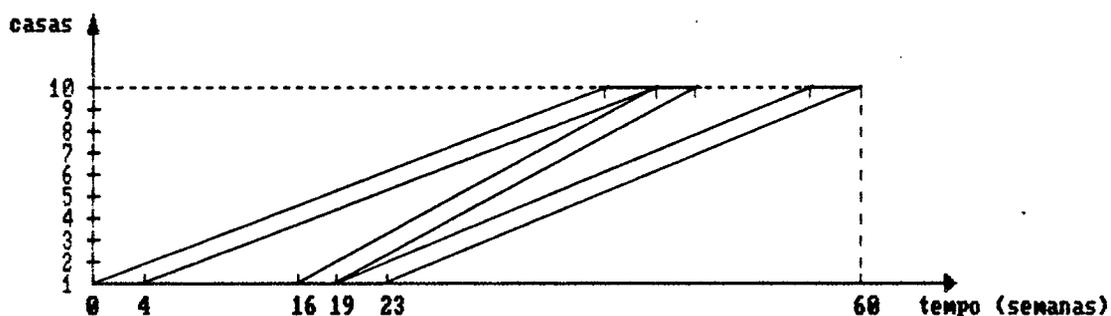


FIGURA 8 Linha de balanço pela programação de recursos.

A FIGURA 8 é um gráfico da Programação de Recursos onde há apenas uma equipe realizando cada operação. Neste caso as 10 casas não são mais realizadas em 20 semanas, mas em 60 semanas.

A obra pode ser acelerada na Programação de Recursos, aumentando-se o número de equipes para cada operação.

Para efeito de comparação, considera-se a mesma quantidade de recursos necessários na Programação Paralela. Obtém-se o seguinte gráfico (FIGURA 9).

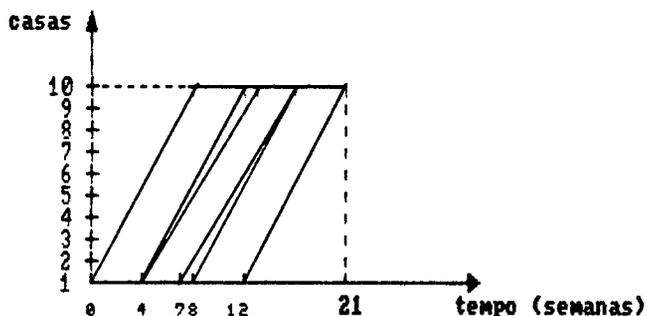


FIGURA 9 Linha de balanço pela programação de recursos.

A programação da construção das 10 casas pela Programação de Recursos, com a mesma quantidade de recursos utilizada na Programação Paralela, resultou num prazo maior do que na Programação Paralela.

### 2.5.3. COMPARAÇÃO ENTRE PROGRAMAÇÃO PARALELA E PROGRAMAÇÃO DE RECURSOS.

A Programação Paralela possui simplicidade na sua realização e entendimento. Ela garante o tempo mínimo para realização da obra, porém, com acréscimo de custo em relação à Programação de Recursos.

Na Programação Paralela o tempo de construção de cada unidade não varia de unidade para unidade, pois a realização da obra é contínua devido a um ritmo único.

A Programação de Recursos possui tempos vazios permitindo a degradação e estragos na obra. Nesta, a construção de cada unidade é descontínua, como pode ser visualizado na FIGURA 8.

Os desvios entre o programado e o progresso real da obra são, em princípio, mais frequentes e significativos na Programação Paralela, devido aos ritmos de trabalho serem diferentes do ritmo natural.

Os tempos de espera introduzidos pela Programação Paralela, entre o trabalho de uma equipe numa unidade e na unidade subsequente, proporcionam quebra na continuidade executiva, reduzindo a produtividade potencial ganha com a repetição (FIGURA 10).

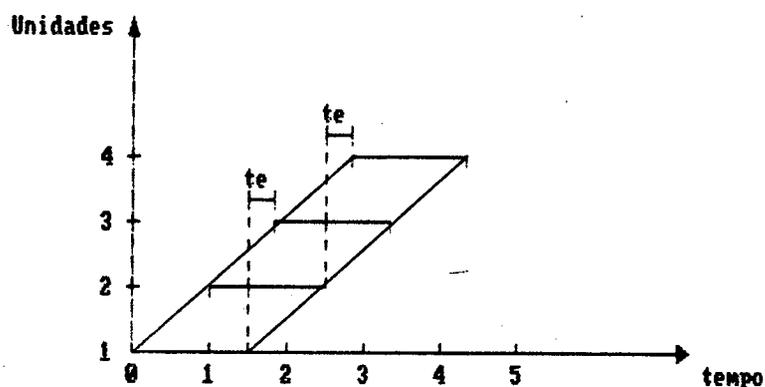


FIGURA 10 Tempo de espera

## 2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO.

### a. Vantagens

O Método da Linha de Balanço possui vantagens quanto a fase de planejamento e execução da obra, como colocadas a seguir.

No planejamento o método fornece clareza e simplicidade de representação, facilitando a transmissão de informações; fornece

informações referentes a utilização de equipamentos e componentes de construção, possibilitando a programação da aquisição e uso dos materiais em obra.

A utilização do método leva a organização no ataque à obra e especializa a mão de obra; introduz motivação, que é o alcance de um ritmo de trabalho.

Como um método de controle pode ser usado para determinar em qualquer tempo durante o projeto:

\* - se os recursos são utilizados em quantidades inferiores do que a necessária, reduzindo a razão programada, ou em excesso, ocasionando aumento de trabalho sem melhorar a produtividade;

- a visualização imediata dos serviços que desviam-se do programa inicial e suas influências nas demais etapas da obra.

#### b. Desvantagens

As principais desvantagens do método são devidas a:

- necessidade de integração entre o projeto e a construção;  
- entrega do domínio do processo para a gerência e não ao operário;

- especialização da mão de obra, tornando o operário conhecedor apenas das tarefas que ele executa.

## 2.7. CONCLUSÃO.

Neste capítulo apresentou-se uma pequena revisão dos métodos de programação.

Dentro do Método da Linha de Balanço apresentou-se a Programação Paralela e a Programação de Recursos. No capítulo 3 será aplicada a Programação Paralela.

Para uma descrição mais detalhada sobre o método e suas aplicações, ver por exemplo, LUMSDEN 68 e MADERS 87.

## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO

#### 3.1. INTRODUÇÃO

Cada etapa, na aplicação do Método da Linha de Balanço, está ligada a tomada de decisões operacionais. Estas decisões dão origem as principais variáveis envolvidas na execução do programa.

Neste trabalho analisa-se a influência de algumas variáveis quando o Método da Linha de Balanço é aplicado em diferentes tipos de obras habitacionais repetitivas e estuda-se as diversas possibilidades de combinações entre as variáveis.

As variáveis estudadas são:

- forma da rede lógica;
- tamanho das equipes;

A escolha destas variáveis, a seguir discutidas, influenciam em outras variáveis, como:

- duração das operações;
- duração da unidade básica;
- ritmo de trabalho;
- fator de multiplicação de recursos (número de equipes);
- estratégia de ataque à obra;
- quantidade total de recursos necessários.

### 3.2. ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO

Para aplicação do Método da Linha de Balanço as várias etapas, apresentadas a seguir, devem ser analisadas. Em cada etapa, decisões devem ser tomadas, as quais conduzem a diferentes resultados.

O Método da Linha de Balanço permite a organização do processo construtivo, não levando obrigatoriamente a uma solução ótima, mas satisfatória. Procurar-se-á estudar várias situações para traçar-se um caminho que simplifique o uso da técnica, tornando-a de mais fácil compreensão para o usuário.

Para um melhor entendimento das etapas de aplicação do método, apresenta-se um fluxograma mostrando o sequenciamento destas etapas (FIGURA 11).

#### 3.2.1. CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS

Nesta etapa apresentam-se as principais características da obra escolhida para a aplicação do Método da Linha de Balanço.

Uma descrição completa da obra deve ser efetuada, de modo a fornecer o tipo do projeto a ser realizado. Determina-se a dimensão total do projeto, sua localização, quantidade de unidades que compõem, dimensões das unidades, forma de distribuição das unidades e obras especiais como creches, centro comunitário, acessos, etc..

Esta etapa ajuda na determinação da unidade básica e todos os serviços que não fazem parte do planejamento principal.

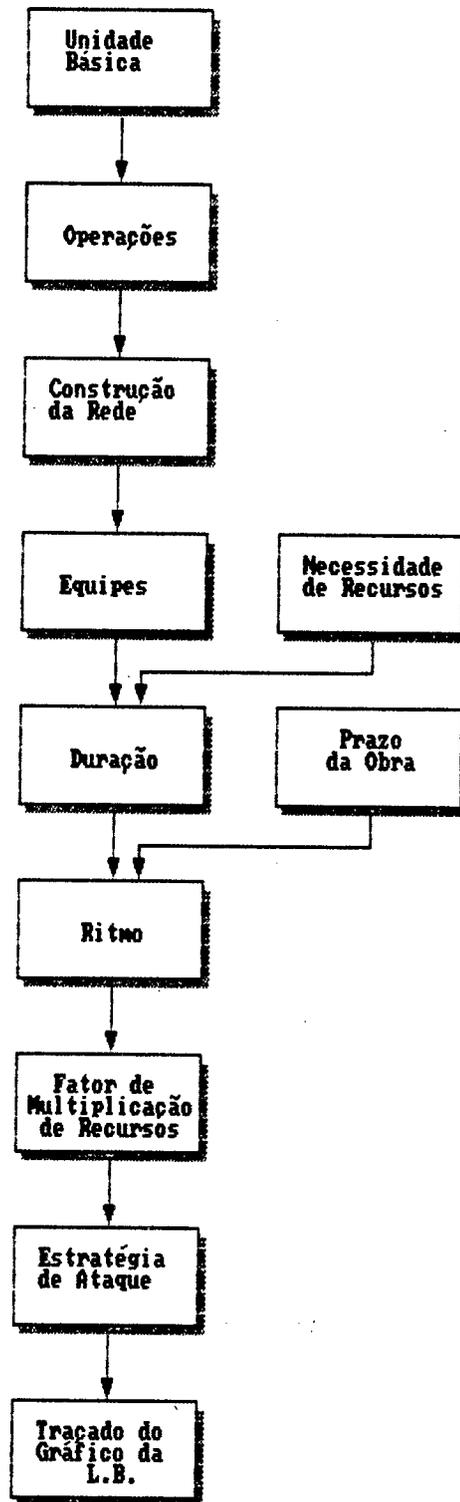


FIGURA 11 Fluxograma de aplicação do método da linha de balanço.

### 3.2.2. DETERMINAÇÃO DA UNIDADE BÁSICA.

Unidade básica representa o tipo de unidade que compõe o projeto e deve ser repetida até a sua conclusão.

Para a determinação da unidade básica o projeto é dividido em seções que representam um conjunto de operações ou tarefas que são repetidas em todo o projeto.

Quando o projeto apresenta seções diferentes, é necessário definir uma unidade representativa. A unidade representativa é baseada na seção que ocorre em maior frequência e na seção que possui maior carga de trabalho.

A unidade representativa pode ser obtida através de um cálculo ponderado (média ponderada) entre o número de unidades de uma seção e a carga de trabalho que esta seção encerra (LUMSDEN 68).

Na ponderação, tem maior peso a unidade que ocorre em maior frequência e possui maior carga de trabalho.

A seção escolhida depende do tipo e dimensão do projeto.

Na construção de conjunto habitacional de casas, a seção pode ser uma casa, uma quadra ou um grupo de casas. Num conjunto habitacional de blocos de edifícios, a seção é um bloco, um pavimento ou até mesmo parte do pavimento. Na construção de um edifício único, a seção é um pavimento ou parte do pavimento.

A determinação da unidade básica depende da dimensão do problema. Pois uma programação pode tornar-se minuciosa demais quando considera-se como unidade básica a menor unidade repetitiva, onde se poderia considerar um grupo dela.

A escolha da unidade básica determinará o número de unidades a serem repetidas e influenciará na duração de uma unidade. Esses são determinantes do ritmo de trabalho.

### 3.2.3. CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS A CADA ESTUDO DE CASO.

A aplicação do Método da Linha de Balanço possui limitações quanto as fases da construção a serem atingidas. Ou seja, o método limita-se a atingir as operações repetitivas desenvolvidas ao longo do projeto, assim, não atinge fases específicas da obra.

São três os momentos na construção de um edifício: a fase de serviços preliminares, fundações e execução do pavimento térreo, que corresponde ao primeiro momento; a fase de construção dos pavimentos tipo e por fim a execução da cobertura.

A repetição do primeiro e terceiro momento só se dará periodicamente, no início e término de um bloco. A repetição do segundo momento é constante.

Esta diferenciação na construção de edifícios dificulta a sua programação pelo método da Linha de Balanço. Por este motivo, em geral, o primeiro e terceiro momentos podem ser suprimidos na apresentação do diagrama da Linha de Balanço, embora o seu planejamento deve ser realizado por este ou por outro método.

Conforme o tipo de projeto e a unidade básica escolhida, uma fase pode ser específica ou não. É o caso da fase de subestrutura, a qual, no projeto de um edifício único é considerada como específica, pois esta não faz parte das etapas repetitivas que serão desenvolvidas ao longo dos pavimentos. No entanto, tratando-se do projeto de um conjunto de blocos, a

subestrutura é uma fase repetitiva quando o bloco é considerado como unidade básica. Este mesmo critério aplica-se para telhados, impermeabilizações e outras operações.

A implantação do canteiro de obras, movimento de terra, limpeza do terreno, execução de acessos, canalização de esgoto, colocação de postes e outras instalações iniciais, geralmente não fazem parte do processo de repetição.

É necessário conhecer as limitações de cada projeto, pois outros métodos de planejamento e até o Método da Linha de Balanço podem ser utilizados para as obras específicas. Um planejamento final resulta no conjunto de várias linhas de balanço ou a linha de balanço com outros métodos.

#### 3.2.4. DETERMINAÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS

Neste estudo, os dados dos orçamentos analíticos (sem custos) das obras forneceram os subsídios necessários para a obtenção das operações envolvidas na realização de uma unidade básica. Porém, as operações podem ser determinadas diretamente da análise do projeto.

Operação é o nome dado ao conjunto de trabalhos realizados continuamente e executados por uma mesma equipe de profissionais. São operações os trabalhos como realização de formas, concretagem e alvenaria.

Um conjunto de operações, as quais determinam uma fase da construção, é chamado de serviço, por exemplo, a realização da infraestrutura, estrutura e revestimentos.

Atividade representa as tarefas realizadas dentro de uma operação: como exemplo tem-se a preparação, carregamento, lançamento e vibração do concreto na operação concretagem.

Algumas operações são agrupadas e consideradas como única por necessitarem de pequena quantidade de recursos em relação à outras operações e serem realizadas por um mesmo tipo de profissional.

As operações devem ser enriquecidas com todas as tarefas referentes à mesma.

### 3.2.5. CONSTRUÇÃO DA REDE LÓGICA

Determinadas as operações correspondentes a execução de uma unidade básica, as relações de dependência, bem como o desenvolvimento lógico em obra, devem ser analisados de modo a dar origem a uma rede lógica.

A representação de um programa de trabalho em forma de rede é feita nos seguintes estágios:

1. O projeto é dividido em operações, as quais são listadas. O nível de detalhe fica a critério do usuário;

2. A dependência entre as operações é estabelecida satisfazendo as seguintes questões:

- a) quais operações devem ser concluídas antes que um evento particular ocorra;

- b) quais operações não podem ser iniciadas até que um evento particular ocorra; encontrando, desta maneira, cada sucessor e predecessor das operações.

3. Um diagrama de rede é construído para mostrar a sequência em que as operações devem ser executadas, satisfazendo as necessidades lógicas do projeto.

Várias formas de rede podem ser construídas dependendo do critério do usuário. Neste estudo considera-se as seguintes formas de redes:

A - rede linear, onde todas as operações fazem parte do caminho crítico;

B - rede com operações ocorrendo em paralelo;

C - rede onde as operações que são realizadas por um mesmo tipo de profissional são agrupadas;

As redes A e B possuem as mesmas operações, o que as diferencia é o caminho crítico, o qual torna a rede A com uma duração unitária maior.

A rede C possui operações agrupadas, portanto cada operação possui maior necessidade de recursos.

Neste estudo, as redes foram traçadas sem considerar rigorismo nas precedências. A preocupação maior está na forma da rede.

### 3.2.6. LEVANTAMENTO DA NECESSIDADE DE MÃO DE OBRA.

Os recursos necessários para o andamento da obra são muitos. Entre eles considera-se mão de obra, materiais e equipamentos. Neste trabalho, é utilizado na programação apenas os recursos de mão de obra.

A necessidade de mão de obra é representada pela quantidade de homens-horas (hh) necessários para a execução de determinada tarefa.

Para o levantamento da necessidade de mão de obra considera-se o produto das medições apresentadas no orçamento pelas respectivas constantes de mão de obra fornecidas pelas Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos TCPO 8, da Editora PINI.

Das constantes de mão de obra fornecidas pela TCPO 8, considera-se a mão de obra mais significativa entre o servente e o profissional especializado.

Para exemplificar, tem-se:

A medição de determinada operação é 30,00 m<sup>2</sup>. Para esta operação a constante de mão de obra fornecida pela TCPO 8 é 0,13 homens-horas/m<sup>2</sup>. Logo o total de homens-horas necessários para esta operação é  $30,00 \text{ m}^2 * 0,13 \text{ h/m}^2 = 3,9 \text{ hh}$ .

### 3.2.7. DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DAS EQUIPES

As operações são designadas a equipes de trabalho responsáveis pela sua execução. A constituição da equipe dá-se em função do volume de trabalho que encerram as operações e segundo a forma usual em que se agrupam os profissionais na formação da equipe de trabalho (MADERS 87).

O ideal seria encontrar a constituição das equipes de modo a atingir-se um ritmo único, que representasse tanto quanto possível um valor múltiplo do ritmo natural de cada operação (LUMSDEN 68).

Em geral, as obras possuem prazo de conclusão estipulado, o qual implica na determinação do ritmo, não sendo este função apenas das durações das operações determinadas pelas equipes.

A prática ensina que as equipes devem ser de tamanho pequeno, para atender os fatores, entre tantos, de efeito aprendizado, facilidade de coordenação, redução dos custos de mobilização e a taxa ideal de ocupação de trabalhadores (número de homens por m<sup>2</sup>).

A escolha da equipe pode ser realizada em função da duração natural da operação, ou seja, a duração dada pela prática.

No decorrer da realização da obra, as equipes podem ser modificadas no canteiro. Isto ocorre porque diferentes operários têm diferentes produtividade. Desta forma, uma equipe de dois operários pode ter a mesma produtividade que uma equipe de três operários.

Neste trabalho, as equipes possuem diferentes tamanhos. São consideradas equipes de tamanho pequeno e grande para cada operação.

As equipes apresentam, para muitas operações, apenas um operário. Na prática, esta consideração não é usual. Usa-se aqui, para uma maior diferenciação entre os tamanhos das equipes.

Não deve ser atribuída uma equipe que resulta em duração menor que meio dia para uma operação.

### 3.2.8. DETERMINAÇÃO DAS DURAÇÕES DE CADA OPERAÇÃO.

A duração de uma operação é função da composição da equipe.

A distribuição de pessoal para realização das operações, ou seja, a escolha da equipe de operários é uma decisão muito importante. Estipulando-se diferentes tamanhos de equipes correspondentes a cada operação, determina-se diferentes durações para as operações. Portanto diferentes ritmos são encontrados.

Várias situações podem ser estudadas, de acordo com as equipes escolhidas.

Para o bom andamento das atividades em obra as trocas de operações devem ser realizadas em períodos de meio dia ou dia inteiro. As durações, após calculadas, são arredondadas para valores múltiplos de 0,5 dias.

Através da EQUAÇÃO 5 determina-se a duração das operações.

$$d_i = hh_i / (e_i * j)$$

5

onde:

$d_i$  = duração da operação  $i$ ;

$hh_i$  = necessidade de recursos em horas da operação  $i$ ;

$e_i$  = número de homens da equipe  $i$ ;

$j$  = jornada de trabalho diária (horas/dia);

Após determinada as durações de cada operação, estas devem ser colocadas na rede.

A rede deve ser analisada para estabelecer a sincronização dos eventos e operações. O primeiro cálculo a ser realizado é para determinação dos tempos iniciais dos eventos, seguido pela determinação dos tempos finais. Desta maneira pode-se encontrar o caminho crítico, isto é, a maior sequência de operações da rede.

Com as durações das operações pertencentes ao caminho crítico, determina-se o tempo de construção de uma unidade básica, o qual pode ser obtido pela EQUAÇÃO 6.

$$DU = \sum_{i=1}^{no} d_{i*}$$

6

onde:

DU = duração da unidade básica;

$d_{i*}$  = duração da operação  $i$  pertencente ao caminho crítico;

no = número de operações;

Para absorver os atrasos de eventuais distúrbios causados por problemas meteorológicos ou atrasos na programação, deveria-se considerar períodos de folga entre as operações ou entre serviços, como na passagem da infraestrutura para a superestrutura ou destes para os de acabamento.

A introdução de folgas, seja de que tipo forem, fará com que o período de execução da obra prolongue-se. Por isso, é necessário um estudo correto para a determinação das folgas e o seu posicionamento.

Este trabalho objetiva uma programação clássica do Método da Linha de Balanço, portanto não faz a consideração de folgas.

### 3.2.9. DETERMINAÇÃO DO RITMO DE TRABALHO.

Com o prazo de conclusão da obra e o tempo para a construção de uma unidade básica estabelecidos, determina-se o ritmo de trabalho necessário para que a obra possa ser desenvolvida.

FIGURA 12.

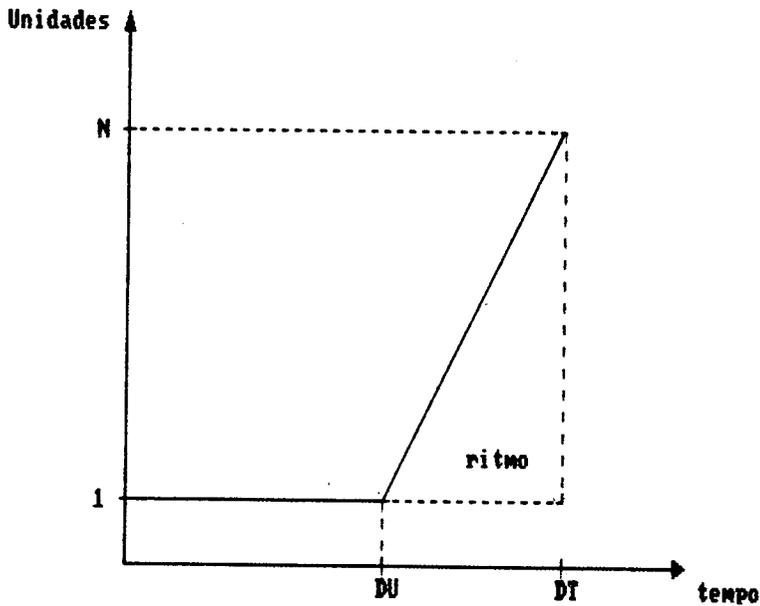


FIGURA 12 Ritmo de trabalho para conclusão da obra no prazo estabelecido.

Neste trabalho considerar-se-á o tempo em dias. Considera-se que um ano possui 12 meses, um mês 4.35 semanas e uma semana 5 dias úteis.

O ritmo calculado (EQUAÇÃO 7) é o ritmo mínimo que deve ser imposto à obra de modo a obedecer o prazo estabelecido.

$$R = (N - 1) / (DT - DU)$$

7

onde:

R = ritmo de trabalho (unidades/dia);

N = número de unidades do projeto (unidades);

DT = duração de planejamento (dias);

DU = duração da unidade básica (dias);

Esta forma de determinação do ritmo é que conduz à Programação Paralela.

### 3.2.10. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE MULTIPLICAÇÃO DE RECURSOS.

O fator de multiplicação de recursos de uma operação representa o número de equipes necessárias para a execução da operação tendo-se estabelecido o ritmo e o tamanho da equipe.

A FIGURA 13 mostra a determinação do número de equipes. Nesta figura, uma operação é realizada no ritmo de 1,5 unidades/dia. No momento em que a equipe  $E_1$  finaliza a operação na unidade 1, a unidade 2 já deve ter sido iniciada pela equipe  $E_2$ .

Nesta situação, são necessárias duas equipes para que seja mantido o ritmo de trabalho, o que representa o fator de multiplicação de recursos.

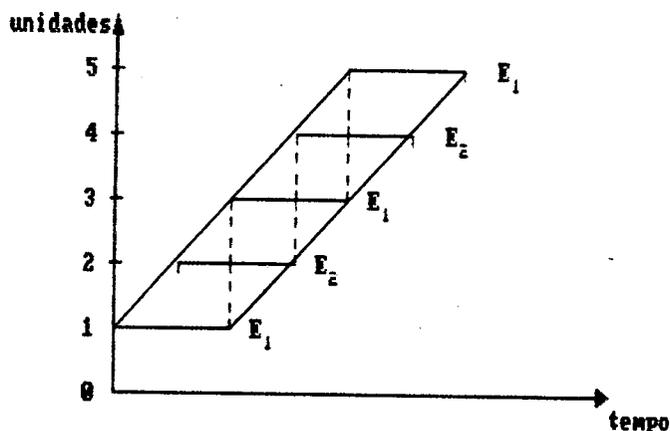


FIGURA 13 Número de equipes.

Para a determinação do fator de multiplicação de recursos, considerar-se-á a FIGURA 14.

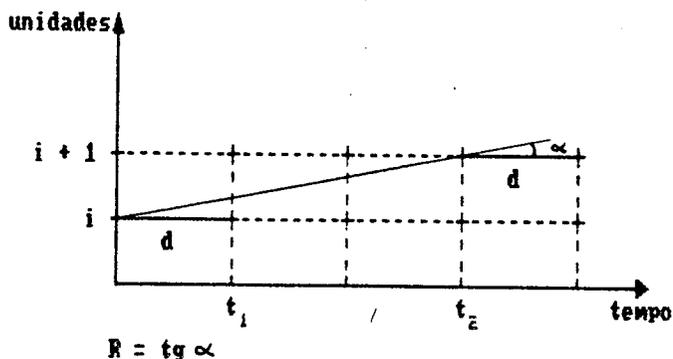


FIGURA 14 Determinação do número de equipes.

Analisando-se a FIGURA 14 verifica-se que:

$$t_1 = d$$

8

$$t_2 = 1 / R$$

9

Onde:

R = ritmo de trabalho;

d = duração da operação;

$t_1$  = tempo de conclusão da operação na unidade i;

$t_2$  = tempo de início da operação na unidade i + 1;

- Uma equipe é suficiente para a operação, com tempo de espera, quando  $t_1 < t_2$ ;
- Uma equipe é suficiente para a operação, sem tempo de espera, quando  $t_1 = t_2$ ;
- Uma equipe é insuficiente para a operação quando  $t_1 > t_2$ .

Da relação  $t_1 / t_2$  tem-se o número de equipes necessárias para a operação.

$$t_1 / t_2 = d * R \quad 10$$

O fator de multiplicação de recursos, por representar o número de equipes, deve ser um número inteiro, desta forma, pode ser obtido pela EQUAÇÃO 11:

$$FMR_1 = d_1 * R + a_1 \quad 11$$

onde:

$FMR_1$  = fator de multiplicação de recursos da operação  $i$  (equipes);

$d_1$  = duração da operação  $i$  (dias);

$R$  = ritmo de trabalho (unidades/dia);

$a_1$  = arredondamento para o inteiro superior;

### 3.2.11. DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ATAQUE A OBRA.

O ataque à obra é realizado em função da escolha da unidade básica e de fatores construtivos. Quando a execução de uma unidade básica depende da execução da unidade anterior, a estratégia de ataque é determinada por fatores construtivos.

No planejamento de um edifício único, o ataque à obra é realizado do primeiro ao último pavimento para algumas operações e do último ao primeiro pavimento para outras.

Para obras de unidades pequenas, como casas, o ataque às unidades é realizado a critério do coordenador na obra, obedecendo às características geográficas, deslocamentos, acessos e condições de comercialização.

Para a construção de blocos de edifícios, o ataque aos blocos segue o mesmo critério utilizado para as casas. Para o ataque no bloco considera-se a execução da estrutura como determinante da estratégia de ataque à obra, pois uma operação da estrutura não pode ser repetida enquanto que todas as operações não foram concluídas. Por exemplo, na construção de um bloco de edifício, quando a equipe responsável pela execução das formas conclui esta operação no pavimento de determinado bloco, teria que esperar a execução das ferragens, concretagem, folga após a concretagem e a execução da laje para atacar o próximo pavimento deste mesmo bloco. Em consequência surge a necessidade do ataque a pelo menos um número de blocos mínimo, para evitar a ociosidade das equipes de formas.

Este número de blocos a serem atacados é determinado pela EQUAÇÃO 12.

$$n_b = R * t_t$$

12

onde:

$n_b$  = número de blocos que devem ser atacados;

$R$  = ritmo de trabalho (unidades/dia);

$t_t$  = duração do serviço estrutura;

É necessário verificar que  $n_b$  não pode ser maior que o número total de blocos do projeto. Caso isto ocorra, é necessário modificar o tamanho das equipes de modo a resultar em durações menores, conseqüentemente, um ritmo menor.

Outra consideração a analisar é o aumento de tamanho das equipes responsáveis pelo serviço determinante da estratégia de ataque, de modo que este serviço tenha duração menor, diminuindo  $t_t$ .

Neste estudo, os conjuntos de blocos, seja de casas ou edifícios, são numerados. Esta numeração é realizada de acordo com as características da planta de locação dos mesmos. O ataque aos blocos deve obedecer a esta numeração, a qual está representada no gráfico da Linha de Balanço.

### 3.3. DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE TOTAL DE RECURSOS.

A necessidade total de recursos (NTR) representa a quantidade de homens-horas (hh) ou homens-dias (hd) necessários para o desenvolvimento do projeto programado pelo Método da Linha de Balanço.

A necessidade total de recursos representa a quantidade de recursos necessários produtivos e a quantidade de recursos improdutivos.

Os recursos improdutivos são devido aos tempos de espera decorrentes da utilização de um ritmo forçado (diferente do ritmo natural de cada operação).

A quantidade de recursos produtivos, para uma operação ( $NRP_i$ ), representa a necessidade de homens-horas ou homens-dias para esta operação em todas as unidades do projeto. A necessidade de recursos produtivos pode ser determinada através da EQUAÇÃO 13.

$$NRP_1 = N * d_1 * e_1$$

onde:

N = número de unidades do projeto:

$d_1$  = duração da operação i;

$e_1$  = tamanho da equipe para a operação i:

A necessidade total de recursos pode ser determinada através das curvas de mobilização de recursos ou pela equação representativa da área do histograma das curvas de mobilização de recursos.

As curvas de mobilização de recursos são diagramas extraídos da representação gráfica do programa da Linha de Balanço.

Considere o exemplo para construção de 10 unidades:

operação	duração (semana)	recursos (homens)	homens-semana
1-2	0,8	10	8,0
2-3	1,2	8	9,6
3-4	2,5	11	27,5
4-5	0,5	7	3,5

Neste exemplo a necessidade de recursos para completar uma unidade é 48,6 homens-semanas. Porém, a necessidade de recursos para completar as 10 unidades não é 486 homens-semanas. Este valor é a quantidade de homens-semanas produtivos. É necessário considerar a quantidade de homens-semanas improdutivos decorrentes dos tempos de espera que as equipes enfrentam.

Considere a operação 3-4. A quantidade de recursos alocados para a operação 3-4 é 11 operários. Portanto incrementos de 11 operários são dados ao histograma a cada unidade e subsequentemente deduzidos quando as equipes não são mais

envolvidas no processo (FIGURA 15). A base do histograma estende-se desde o início da operação na primeira unidade até o seu

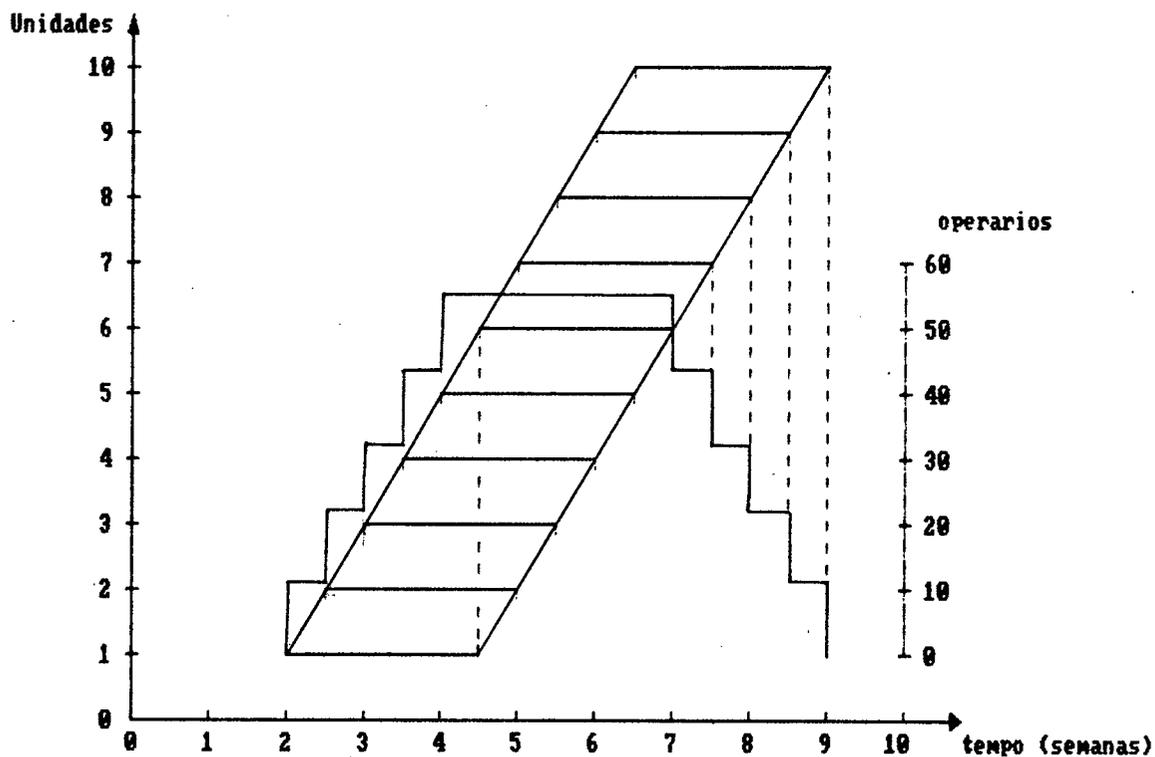


FIGURA 15 Demanda de operários para a operação 3-4.

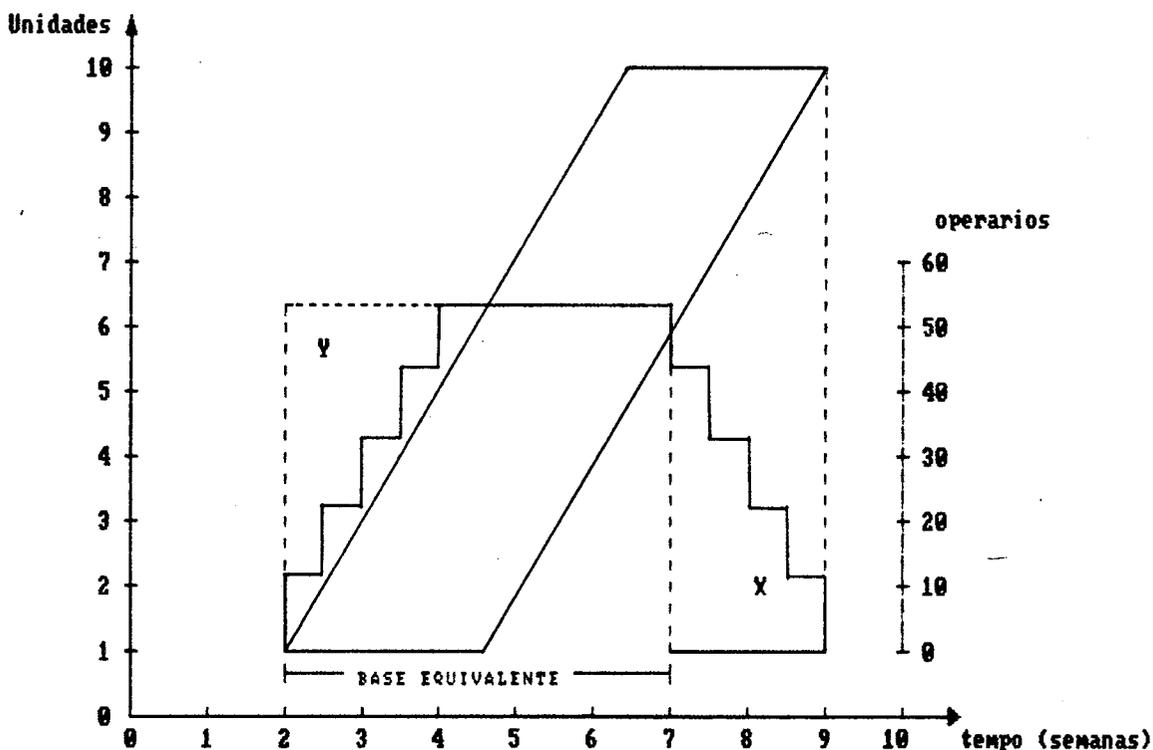


FIGURA 16 Base equivalente do histograma para a operação 3-4.

A mobilização e desmobilização dos recursos ocorrem num mesmo ritmo (2 unidades/semana). As áreas à direita (x) e à esquerda (y) do histograma são iguais, logo compensam-se. A base do histograma pode ser tomada como sendo  $7 - 2 = 5$  semanas (FIGURA 16).

O conteúdo de trabalho que a operação encerra é a área sob o histograma, a qual representa o produto dos trabalhadores pelo tempo, portanto expressa em homens-semanas.

Este método aplicado para o restante das operações produz para cada operação um histograma. O somatório das áreas dos histogramas fornece a quantidade de homens-semana total para a construção das 10 unidades.

A base equivalente do histograma de recursos pode ser obtida através da EQUAÇÃO 14.

$$B_1 = (N - FMR_1) / R + d_1 \quad 14$$

onde:

$B_1$  = base do histograma para a operação i (dias);

$N$  = número de unidades repetidas (unidades);

$R$  = ritmo de trabalho (unidades/dias);

$FMR_1$  = número de equipes para a operação i;

$d_1$  = duração da operação i (dias);

A área do histograma que representa a necessidade total de recursos pode ser obtida, para cada operação, pela EQUAÇÃO 15.

$$NTR_i = ((N - FMR_i) / R + d_i) * e_i * FMR_i \quad 15$$

onde:

$NTR_i$  = necessidade total de recursos da operação  $i$ ;

$e_i$  = tamanho da equipe para a operação  $i$ ;

O resultado de  $NTR_i$  é diferente da quantidade unitária de recursos porque o efeito do tempo de espera introduz um conteúdo adicional não produtivo.

A EQUAÇÃO 16 fornece a quantidade total de recursos necessários.

$$NTR = \sum_{i=1}^{no} (((N - FMR_i) / R + d_i) * e_i * FMR_i) \quad 16$$

onde:

$NTR$  = necessidade total de recursos;

$no$  = número de operações;

### 3.4. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE RECURSOS IMPRODUTIVOS.

A adoção de um ritmo único de trabalho para todas as operações do programa, o qual é realizado pela Programação Paralela, vem acompanhada da necessidade de multiplicação dos recursos a serem utilizados, para que se mantenha este ritmo. Isto pode ocasionar problemas de ociosidade forçada, devido a reutilização destes recursos não ocorrer imediatamente após a sua

liberação. Um período de espera é imposto, o que representa um período improdutivo ou de ociosidade da mão de obra e equipamentos.

Tempo de espera representa o tempo (na unidade em uso: hora, dia, semana, etc.) que uma equipe espera para iniciar seu trabalho na unidade posterior àquela que estava realizando (FIGURA 17).

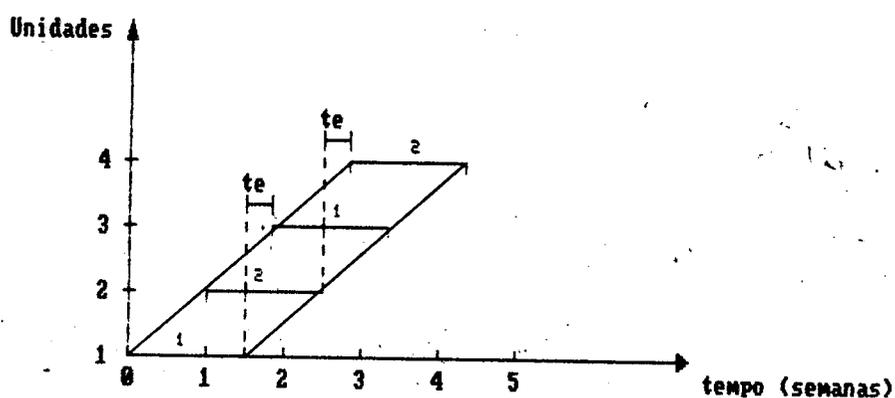


FIGURA 17 Tempo de espera de uma equipe numa operação.

A quantidade de homens improdutivos representa o tempo de espera de cada operário em cada operação nas unidades onde ocorre tempo de espera.

Na primeira unidade que uma equipe enfrenta não ocorre tempo de espera.

A necessidade total de recursos (NTR) compreende a necessidade de recursos produtivos (NRP) e a necessidade de recursos improdutivos (NRI). A necessidade total de recursos pode ser obtida pela EQUAÇÃO 17.

$$NTR = NRP + NRI$$

Para cada operação  $i$  pode-se determinar a quantidade de recursos improdutivos  $NRI_1$  (EQUAÇÃO 18).

$$NRI_1 = NTR_1 - NRP_1$$

18

Através de equações desenvolvidas anteriormente tem-se:

$$NRP_1 = N * (d_1 * e_1)$$

13

$$NTR_1 = ((N - FMR_1) / R + d_1) * e_1 * FMR_1$$

15

$$FMR_1 = d_1 * R + a_1$$

11

Substituindo as EQUAÇÕES 13, 15 e 11 na EQUAÇÃO 18 e fazendo as devidas simplificações, obtém-se a equação que representa a quantidade de homens improdutivos (EQUAÇÃO 19).

$$NRI = \sum_{i=1}^{no} ((N - FMR_1) * a_i / R * e_i)$$

19

A quantidade de recursos produtivos ( $NRP_1$ ) obtida pela EQUAÇÃO 20:

$$NRP_1 = NTR_1 - NRI_1$$

20

apresenta uma variação em relação à necessidade de recursos produtivos obtida pela EQUAÇÃO 13:

$$NRP_1 = N * d_1 * e_1$$

13

Esta variação ocorre devido aos arredondamentos realizados nas durações, ritmo e fator de multiplicação de recursos.

### 3.5. TRAÇADO DO GRAFICO DA LINHA DE BALANÇO.

Com os resultados obtidos, para cada tipo de projeto determinam-se as escalas adequadas e num gráfico plotam-se retas representativas do desenvolvimento das operações ao longo do tempo, ou seja, o gráfico da Linha de Balanço.

Para ser utilizado em obra, o gráfico é transformado em uma planilha de posições e tempos. Esta planilha possui para cada equipe o seu posicionamento na obra e no tempo.

### 3.6. CONCLUSÃO

Neste capítulo foi apresentada uma metodologia contendo as etapas para aplicação do Método da Linha de Balanço.

Em várias etapas foram desenvolvidas formulações matemáticas que fornecem os resultados de cada estudo. Muitos destes resultados foram obtidos graficamente nas bibliografias citadas.

## CAPÍTULO 4

### 4. ESTUDO DE CASOS

A metodologia desenvolvida no capítulo anterior será aplicada em estudo de casos.

Neste estudo considera-se a aplicação do Método da Linha de Balanço em 4 (quatro) tipos de projetos habitacionais repetitivos, os quais são chamados de estudo de casos. São eles:

1. Conjunto habitacional de casas;
2. Conjunto habitacional de edifícios uniformes;
3. Conjunto habitacional de edifícios não uniformes;
4. Edifício com número elevado de pavimentos;

Varios estudos são realizados para cada estudo de caso. Estes estudos são realizados em função das diferentes combinações entre as redes traçadas e as equipes escolhidas.

Neste estudo, considera-se que todas as atividades paralelas às operações, como corte, dobragem e montagem das armaduras, execução de painéis e formas, preparação das tubulações hidráulicas e sanitárias e outras atividades, são preparadas em um canteiro central que fornece estes materiais ao canteiro da obra em planejamento.

#### 4.1. ESTUDO DE CASO NUMERO 1

##### - características

Este estudo de caso compreende o projeto de execução de 400 unidades habitacionais, desenvolvido pela COHAB/SC, construído na cidade de Lages SC.

O projeto urbanístico compreende um loteamento com 906 lotes distribuídos em 34 quadras e uma área central destinada à construção do centro comunitário e uma escola. Dos 906 lotes apenas 400 são destinados à construção das unidades habitacionais. Os lotes restantes serão vendidos separadamente.

As 400 unidades construídas estão distribuídas de maneira não uniforme em 30 quadras. O objetivo desta distribuição não ordenada é fazer uma melhor integração do loteamento projetado pela COHAB/SC e as futuras residências ali construídas.

O projeto em estudo apresenta a construção de 400 casas de 30,00 m<sup>2</sup>. Todas as unidades possuem a mesma área construída e apresentam iguais características.

##### - unidade básica

Neste estudo de caso, a seção que representa um conjunto de operações repetidas em todo o projeto é a casa, um grupo de casas ou a quadra.

A menor unidade que representa um conjunto de tarefas repetitivas é a casa, a qual está presente nas quadras e nos grupos de casas.

As quadras apresentam números diferentes de casas. Peder-se-ia agrupar quadras para obter todas dentro de uma mesma faixa de variação. Porém, apesar do agrupamento, as quadras variam de 15 a 26 casas. Esta é uma variação grande para adotar-se como resultado final uma quadra padrão de 20 casas. Portanto, neste estudo a adoção de quadras como unidade básica não fornece resultados aceitáveis. Desta maneira, considera-se como unidade básica a casa, a qual é a menor unidade de repetição.

- limitações

Neste estudo de caso a construção do centro comunitário, escola, acessos e ruas não fazem parte do processo repetitivo, portanto não são considerados no planejamento.

A implantação do canteiro, as instalações provisórias e a limpeza do terreno são realizadas inicialmente em toda a obra, portanto não estão incluídas na unidade básica.

Todas as etapas restantes na construção das casas são consideradas, desde a locação da obra até a limpeza final.

- operações envolvidas

Os dados do orçamento analítico (sem custos) da obra, realizado pela COHAB/SC, forneceram os subsídios necessários para a obtenção das operações envolvidas na realização de uma unidade básica (QUADROS 1 E 2).

Algumas operações são consideradas como única por constituírem de pequena necessidade de recursos em relação à outras operações. Este é o caso do contrapiso, regularização e

piso cerâmico, que neste estudo de caso constituem uma única operação. Internamente à operação, resolve-se o problema da cura do contrapiso para em seguida colocar o piso.

- rede lógica

Com as operações, determinam-se as relações de precedência entre as mesmas. Constrói-se várias redes lógicas correspondentes a execução de uma casa. Estas redes são representadas pelas FIGURAS 18, 19 e 20.

- necessidade de recursos

A necessidade de recursos é calculada de acordo com as medições apresentadas no orçamento, para cada operação da unidade básica (QUADROS 1 e 2).

- escolha das equipes

São escolhidos dois tipos de equipes. Tem-se equipes de tamanhos pequeno e grande de modo a suprir as necessidades de recursos. Estes resultados são apresentados nos QUADROS 1 e 2.



FIGURA 18 Rede linear, sem operações em paralelo - estudo de caso 1 - rede 1.

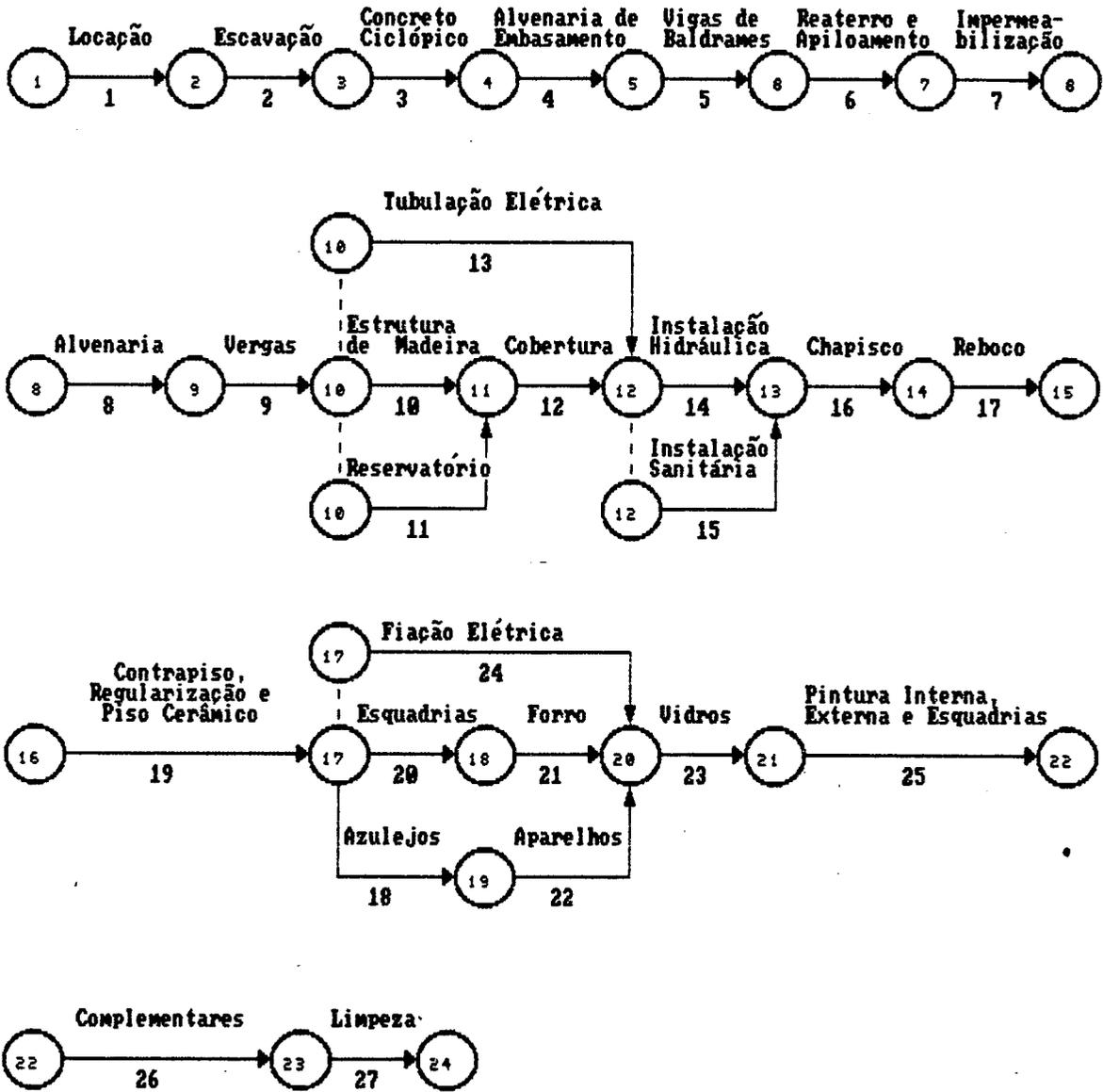


FIGURA 19 Rede com operações em paralelo - estudo de caso 1 - rede 2.

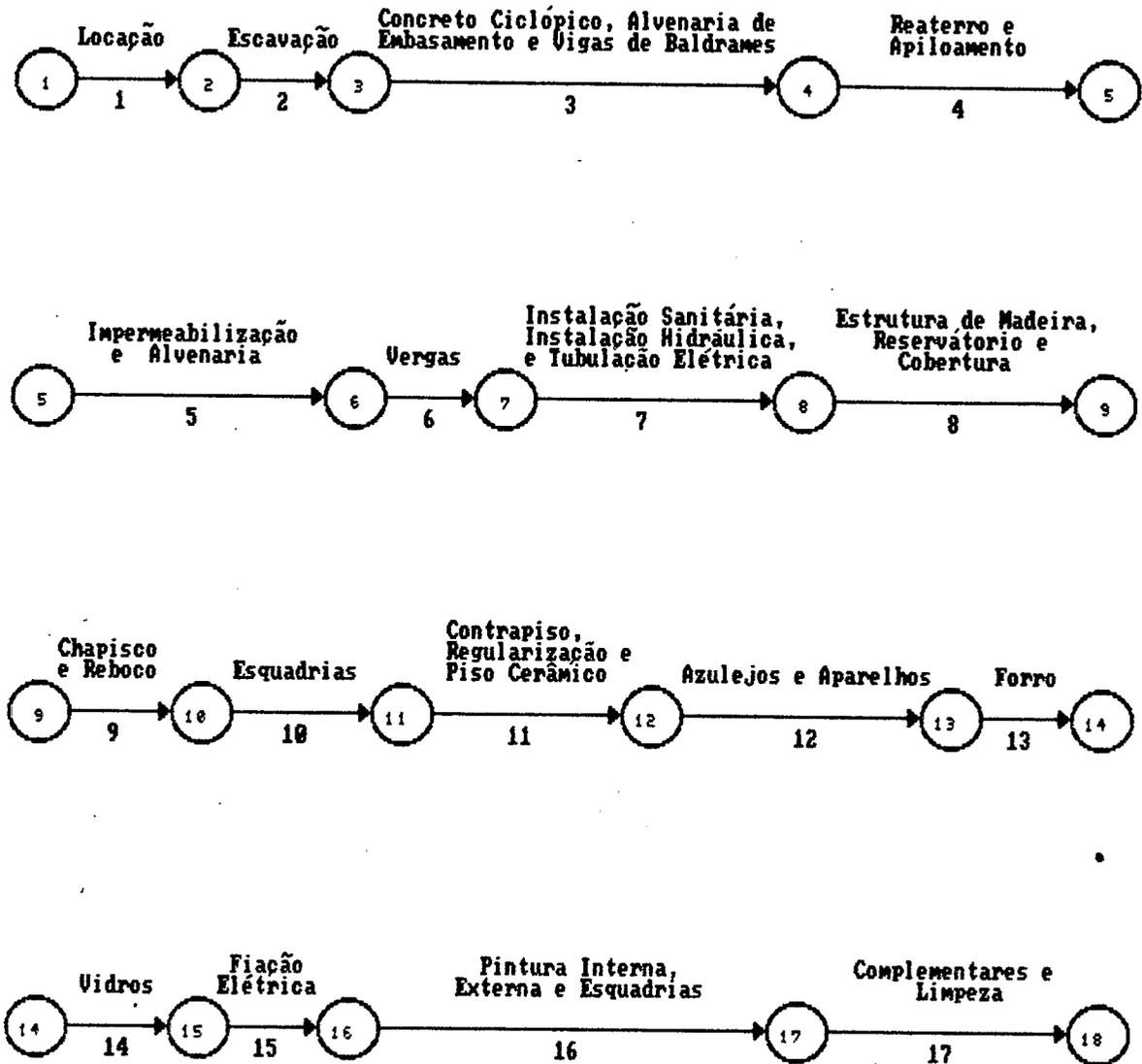


FIGURA 20 Rede com operações agrupadas - estudo de caso 1 - rede 3.

Nos quadros, A e B representam os estudos resultantes da escolha de dois tipos de equipes, pequenas e grandes, respectivamente.

QUADRO 1 Dados para as redes 1 e 2.

Operações	Necessidade de recursos (hd/un)	Equipes *	
		A	B
1. Locação	0,49	1	1
2. Escavação	1,62	1	4
3. Concreto Ciclópico	1,38	1	3
4. Alvenaria de Embasamento	6,99	3	7
5. Vigas de Baldrame	0,84	1	2
6. Reaterro e Apiloamento	2,68	1	6
7. Impermeabilização	0,15	1	1
8. Alvenaria	7,28	3	8
9. Vergas	1,16	1	3
10. Estrutura de Madeira	5,02	3	5
11. Reservatório	1,00	1	2
12. Cobertura	1,25	1	3
13. Tubulação Elétrica	1,13	1	3
14. Instalação Sanitária	1,54	1	4
15. Instalação Hidráulica	1,28	1	3
16. Chapisco	5,39	3	6
17. Reboco	17,32	5	12
18. Azulejos	0,94	1	2
19. Contrapiso Regularização e Piso Cerâmico	0,50	1	1
20. Esquadrias	2,88	1	6
21. Forro	4,41	3	5
22. Aparelhos	2,75	1	5
23. Vidros	0,96	1	2
24. Fiação Elétrica	1,08	1	3
25. Pintura Interna, Externa e Esquadrias	6,93	3	7
26. Complementares	1,84	1	4
27. Limpeza	2,63	1	3
	81,44		

\* Equipe A = equipe de tamanho pequeno

Equipe B = equipe de tamanho grande

QUADRO 2 Dados para a rede 3.

Operações	Necessidade de recursos (hd/un)	Equipes *	
		A	B
1. Locação	0,49	1	1
2. Escavação	1,62	1	4
3. Concreto Ciclóptico, Alve- naria de Embasamento e Vigas de Baldrame	9,21	3	10
4. Reaterro e Apiloamento	2,68	1	3
5. Impermeabilização e Alve- naria	7,43	3	8
6. Vergas	1,16	1	3
7. Instalação Elétrica, Sanitária e Hidráulica	3,95	1	4
8. Estrutura de Madeira, Re- servatório e Cobertura	7,27	2	8
9. Chapisco e Reboco	22,71	5	12
10. Esquadrias	2,88	1	6
11. Contrapiso Regularização e Piso Cerâmico	0,5	1	1
12. Azulejos e Aparelhos	3,69	1	4
13. Forro	4,41	2	5
14. Vidros	0,96	1	2
15. Fiação Elétrica	1,08	1	3
16. Pintura Interna, Externa e Esquadrias	6,93	3	5
17. Complementares e Limpeza	4,47	3	5
	81,44		

- duração das operações  $d_i = h_{ij} / (e_{ij} \times f_j) = \dots$

Para o cálculo das durações é necessário conhecer-se o tamanho da equipe para cada operação. As durações são calculadas pela EQUAÇÃO 5 e arredondadas para valores múltiplos de 0,5 dias (QUADROS 3 e 4).

Com as durações do caminho crítico (EQUAÇÃO 6) de cada rede determina-se a duração da unidade básica DU.

Para a rede 1:  $DU_A = 49,0$  dias;

$DU_B = 18,5$  dias;

Para a rede 2:  $DU_A = 39,5$  dias;

$DU_B = 15,0$  dias;

Para a rede 3:  $DU_A = 42,0$  dias;

$DU_B = 15,5$  dias;

- ritmo de trabalho

O projeto apresenta um prazo de conclusão máximo de 14 meses. Destes, 2 meses são reservados para a implantação do canteiro, instalações provisórias e limpeza do terreno. Portanto a duração de planejamento pelo Método da Linha de Balanço é 12 meses, o que representa 261 dias.

Com a duração da unidade básica estabelecida, determinam-se os ritmos de trabalho  $R$  (EQUAÇÃO 7) para cada conjunto de equipes escolhidas e cada rede em estudo.

Para a rede 1:  $R_A = (400 - 1) / (261 - 49,0) = 1,88$  un/dia;

$R_B = (400 - 1) / (261 - 18,5) = 1,65$  un/dia;

Para a rede 2:  $R_A = (400 - 1) / (261 - 39,5) = 1,80$  un/dia;

$R_B = (400 - 1) / (261 - 15,0) = 1,62$  un/dia;

Para a rede 3:  $R_A = (400 - 1) / (261 - 42,0) = 1,82$  un/dia;

$R_B = (400 - 1) / (261 - 15,5) = 1,63$  un/dia;

- fator de multiplicação de recursos

O número de equipes necessárias para a execução de cada operação é obtido através da EQUAÇÃO 11 e está apresentado nos QUADROS 3 E 4.

- estratégia de ataque

Neste estudo de caso o ataque à obra é realizado de casa a casa, ou seja, inicializando-se a construção da primeira casa, a casa seguinte a ser atacada é a casa mais próxima a ela. O ponto inicial do ataque é determinado pelo responsável pela obra. Este deve obedecer as características geográficas do terreno, bem como os acessos à obra.

- necessidade total de recursos

A necessidade total de recursos para cada operação é determinada através da EQUAÇÃO 15 e está apresentada nos QUADROS 5, 6 e 7. A necessidade total de recursos resulta:

Para a rede 1:  $NTR_A = 37.845,94$  homens-dias;

$NTR_B = 43.842,18$  homens-dias;

Para a rede 2:  $NTR_A = 39.507,91$  homens-dias;

$NTR_B = 44.157,33$  homens-dias;

Para a rede 3:  $NTR_A = 38.621,40$  homens-dias;

$NTR_B = 43.384,41$  homens-dias;

- quantidade de recursos improdutivos

A quantidade de recursos improdutivos RI, para cada operação, é determinada pela EQUAÇÃO 19. Estes resultados estão apresentados nos QUADROS 5, 6 e 7. A quantidade total de recursos improdutivos é:

Para a rede 1:  $RI_A = 2.244,94$  homens-dias;

$RI_B = 7.563,70$  homens-dias;

Para a rede 2:  $RI_A = 3.907,91$  homens-dias;

$RI_B = 8.450,92$  homens-dias;

Para a rede 3:  $RI_A = 3.285,36$  homens-dias;

$RI_B = 7.869,07$  homens-dias;

O estudo que apresenta a melhor distribuição dos recursos é o que possui a menor quantidade de recursos improdutivos.

A menor quantidade de recursos improdutivos é obtida quando a equipe escolhida é pequena e a rede é linear. Esta escolha produz duração unitária grande, portanto, um ritmo grande.

QUADRO 3 Resultados do estudo das redes 1 e 2.

O p e r.	Duração (dias)		FMR (rede 1)				FMR (rede 2)			
	A	B	A	a	B	a	A	a	B	a
1	0,5	0,5	1	0,06	1	0,17	1	0,10	1	0,19
2	2,0	0,5	4	0,24	1	0,17	4	0,40	1	0,19
3	1,5	0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
4	2,5	1,0	5	0,30	2	0,35	5	0,50	2	0,38
5	1,0	0,5	2	0,12	1	0,17	2	0,20	1	0,19
6	3,0	0,5	6	0,36	1	0,17	6	0,60	1	0,19
7	0,5	0,5	1	0,06	1	0,17	1	0,10	1	0,19
8	2,5	1,0	5	0,03	2	0,35	5	0,50	2	0,38
9	1,5	0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
10	2,0	1,0	4	0,24	2	0,35	4	0,40	2	0,38
11	*1,0	*0,5	2	0,12	1	0,17	2	0,20	1	0,19
12	1,5	0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
13	*1,5	*0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
14	2,0	0,5	4	0,24	1	0,17	4	0,40	1	0,19
15	*1,5	*0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
16	2,0	1,0	4	0,24	2	0,35	4	0,40	2	0,38
17	3,5	1,5	7	0,42	3	0,52	7	0,70	3	0,57
18	*1,0	*0,5	2	0,12	1	0,17	2	0,20	1	0,19
19	0,5	0,5	1	0,06	1	0,17	1	0,10	1	0,19
20	3,0	0,5	6	0,36	1	0,17	6	0,60	1	0,19
21	1,5	1,0	3	0,18	2	0,35	3	0,30	2	0,38
22	*3,0	*1,0	6	0,36	2	0,35	6	0,60	2	0,38
23	1,0	0,5	2	0,12	1	0,17	2	0,20	1	0,19
24	*1,5	*0,5	3	0,18	1	0,17	3	0,30	1	0,19
25	2,5	1,0	5	0,30	2	0,35	5	0,50	2	0,38
26	2,0	0,5	4	0,24	1	0,17	4	0,40	1	0,19
27	3,0	1,0	6	0,36	2	0,35	6	0,60	2	0,38

\* durações das operações que não pertencem ao caminho crítico para a rede 2.

a = arredondamento na EQUAÇÃO 11.

QUADRO 4 Resultados do estudo da rede 3.

O p e r.	Duração (dias)		FMR (rede 3)			
	A	B	A	a	B	a
1	0,5	0,5	1	0,09	1	0,18
2	2,0	0,5	4	0,36	1	0,18
3	3,5	1,0	7	0,63	2	0,37
4	3,0	1,0	6	0,54	2	0,37
5	2,5	1,0	5	0,45	2	0,37
6	1,5	0,5	3	0,27	1	0,18
7	4,0	1,0	8	0,72	2	0,37
8	3,5	1,0	7	0,63	2	0,37
9	5,0	2,0	10	0,90	4	0,74
10	3,0	1,0	6	0,54	2	0,37
11	0,5	0,5	1	0,09	1	0,18
12	4,0	1,0	8	0,72	2	0,37
13	2,5	1,0	5	0,45	2	0,37
14	1,0	0,5	2	0,18	1	0,18
15	1,5	0,5	3	0,27	1	0,18
16	2,5	1,5	5	0,45	3	0,55
17	1,5	1,0	3	0,27	2	0,37

QUADRO 5 Resultados do estudo da rede 1.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	212,73	242,32	17,73	41,1
2	850,55	969,27	50,55	164,44
3	638,01	726,95	38,01	123,33
4	3189,10	3390,97	189,10	590,97
5	425,40	484,64	25,40	82,22
6	1275,45	1453,91	75,45	246,65
7	213,73	242,32	12,73	41,11
8	3189,10	3875,39	189,10	675,39
9	638,01	726,95	38,01	123,33
10	2551,66	2422,12	151,66	422,12
11	425,40	484,64	25,40	82,22
12	638,01	726,95	38,01	123,33
13	638,01	726,95	38,01	123,33
14	850,55	969,27	50,55	164,44
15	638,01	726,95	38,01	123,33
16	2551,66	2906,55	151,66	506,55
17	7438,99	8715,82	438,99	1501,38
18	425,40	484,64	25,40	82,22
19	212,73	242,32	12,73	41,11
20	1275,45	1453,91	75,45	246,65
21	1914,03	2422,12	114,03	422,12
22	1275,45	2422,12	75,45	422,12
23	425,40	484,64	25,40	82,22
24	638,01	726,95	38,01	123,33
25	3189,10	3390,97	189,10	590,97
26	850,55	969,27	50,55	164,44
27	1275,45	1453,27	75,45	253,27
Total	37845,94	43842,18	2244,94	7563,70

QUADRO 6 Resultados do estudo da rede 2.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	222,17	246,80	22,17	46,80
2	888,00	987,19	88,00	187,19
3	666,17	740,39	66,17	140,39
4	3329,17	3453,51	329,17	653,51
5	444,22	493,59	44,22	93,59
6	1331,33	1480,78	131,33	280,78
7	222,17	246,80	22,17	46,80
8	3329,17	3946,86	329,17	746,86
9	666,17	740,39	66,67	140,39
10	2664,00	2466,79	264,00	466,79
11	444,22	493,59	44,22	93,59
12	666,17	740,39	66,17	140,39
13	666,17	740,39	66,17	140,39
14	888,00	987,19	88,00	187,19
15	666,17	740,39	66,17	140,39
16	2664,00	2960,15	264,00	560,15
17	7764,17	8876,22	764,17	1676,22
18	444,22	493,59	44,22	93,59
19	222,17	246,80	22,17	46,80
20	1331,33	1480,78	131,33	280,78
21	1998,50	2466,79	198,50	466,79
22	1331,33	2466,79	131,33	466,79
23	444,22	493,59	44,22	93,59
24	666,17	740,39	66,17	140,39
25	3329,17	3453,51	329,17	653,51
26	888,00	987,19	88,00	187,19
27	1331,33	1480,07	131,33	280,07
total	39507,91	44157,33	3907,91	8450,92

QUADRO 7 Resultados do estudo da rede 3.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	219,73	245,29	19,73	44,06
2	878,33	981,14	78,33	176,25
3	4608,12	4903,44	408,12	903,44
4	1316,90	1471,03	116,90	271,03
5	3292,99	3922,75	292,99	722,75
6	658,90	735,86	58,90	267,82
7	1755,08	1961,37	155,08	361,37
8	3072,08	3922,75	136,04	361,37
9	10964,29	11757,35	964,29	2157,35
10	1316,90	1471,03	116,90	271,03
11	219,73	245,29	19,73	44,06
12	1755,08	1961,37	155,08	361,37
13	2195,33	2451,72	195,33	451,72
14	439,36	490,57	39,36	88,12
15	658,90	735,86	58,90	267,82
16	3292,99	3675,87	292,99	667,79
17	1976,69	2451,72	176,69	451,72
Total	38621,40	43384,41	3285,36	7869,07

- traçado do gráfico da linha de balanço

A FIGURA 21 é o Gráfico da Linha de Balanço para o estudo que fornece a menor quantidade de recursos improdutivos para este estudo de caso.

A Linha da Balanço é traçada para a rede 1, a qual é a rede linear, com durações e ritmo obtidos com a escolha da equipe de tamanho pequeno.

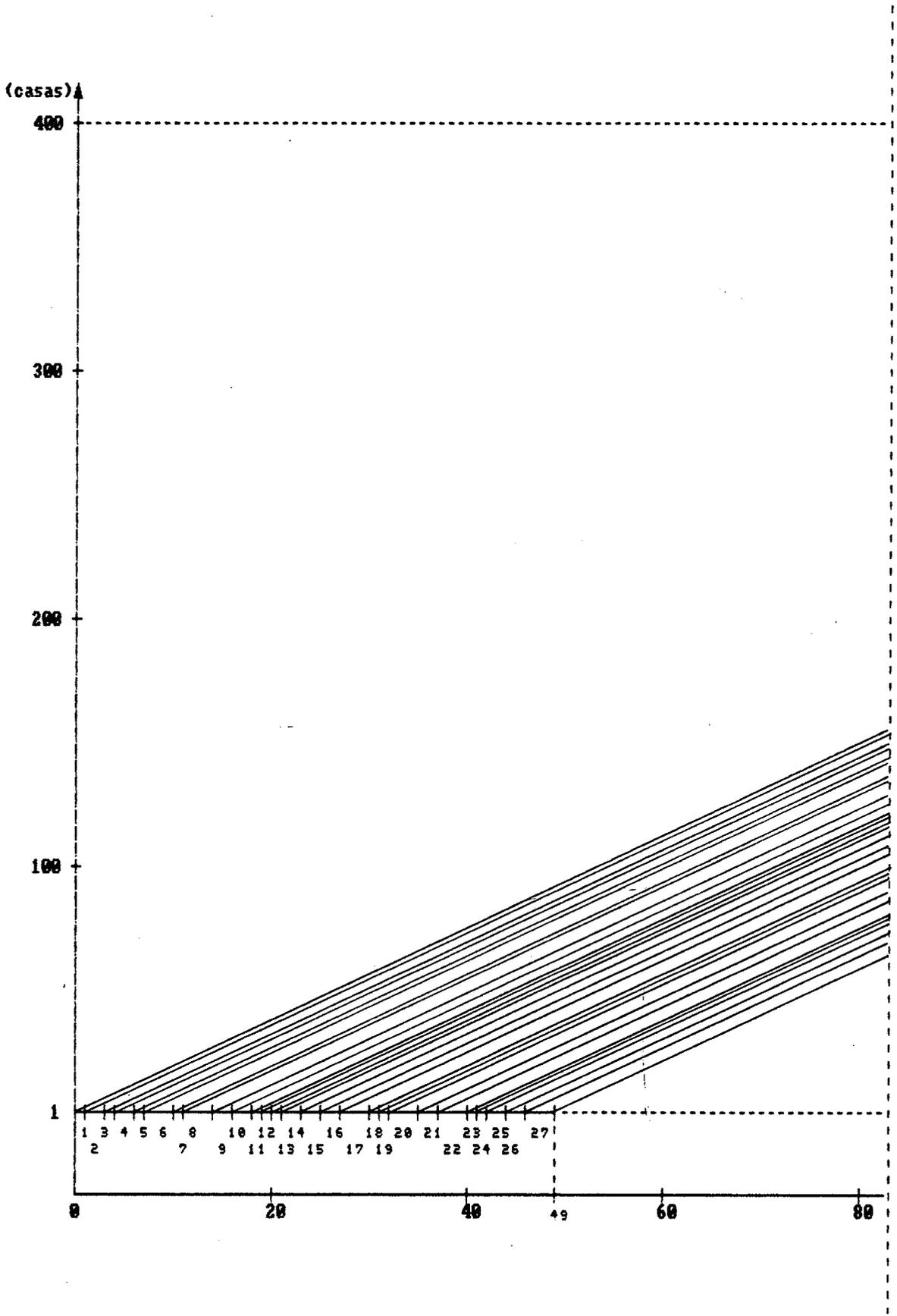
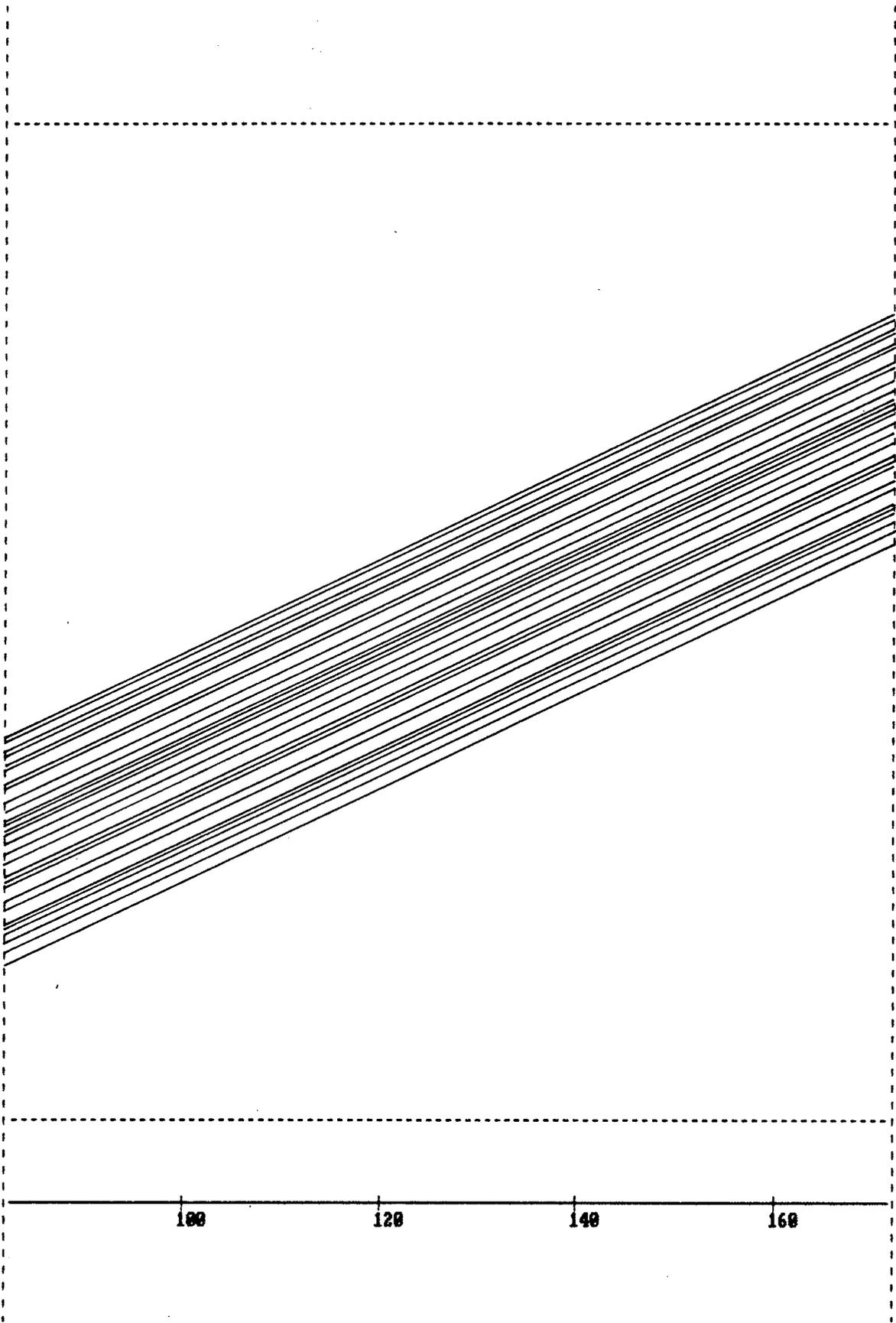
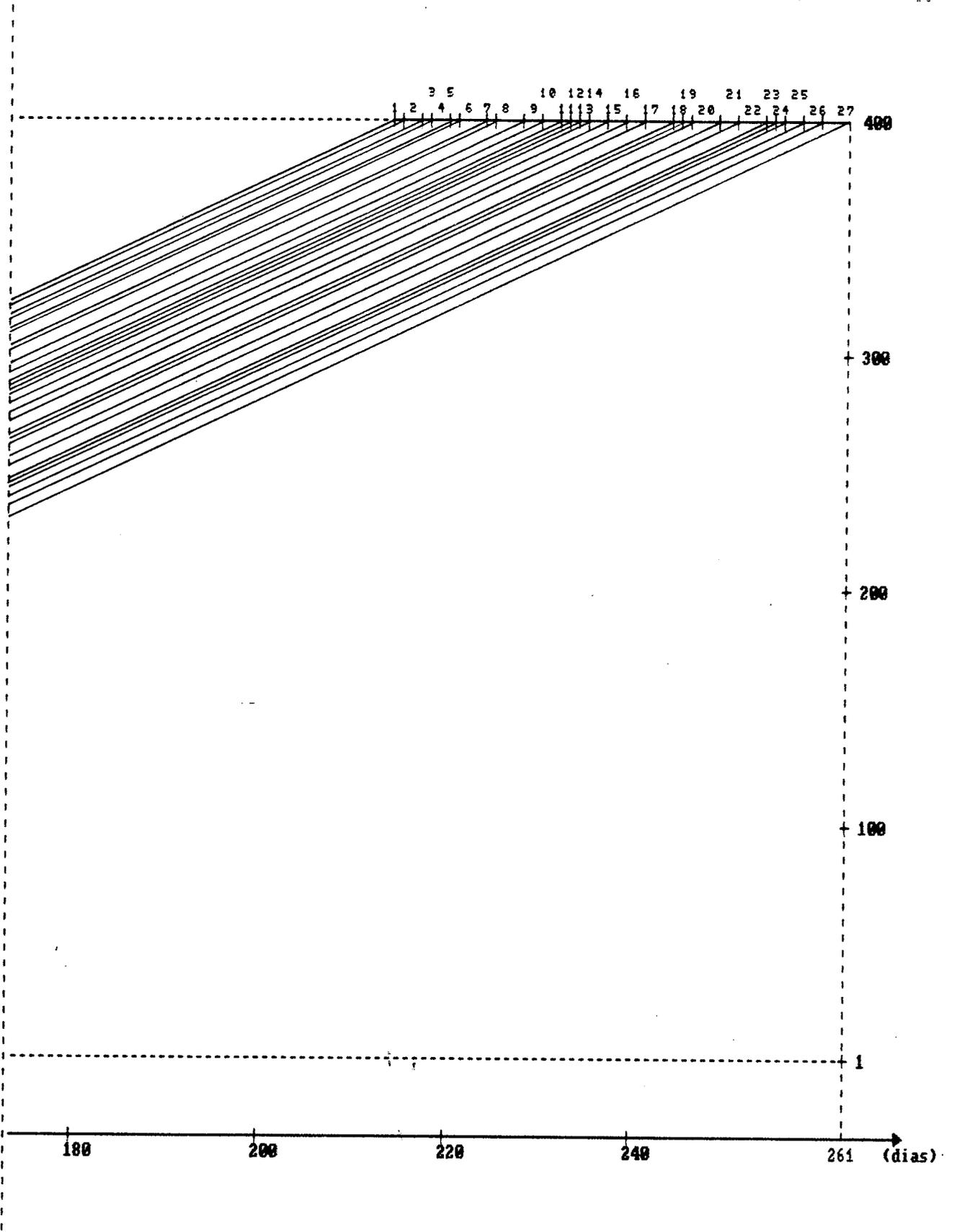


FIGURA 21 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 1.





#### 4.2. ESTUDO DE CASO NUMERO 2

##### - características

Este estudo de caso compreende o projeto do Conjunto Habitacional Ivo Silveira localizado na cidade de Florianópolis SC. Este projeto foi elaborado pelo INOCOOP/SC.

O conjunto habitacional compreende a execução de 10 blocos de edifícios isolados com 4 pavimentos, sendo o pavimento térreo destinado à garagens. Cada pavimento tipo compreende 4 apartamentos, sendo 2 apartamentos de 2 dormitórios e 2 apartamentos de 3 dormitórios. O total é de, portanto, 60 apartamentos com 2 dormitórios e 60 apartamentos com 3 dormitórios.

A área construída de cada bloco é 1096,97 m<sup>2</sup>, a área do pavimento tipo é 272,08 m<sup>2</sup> e a área destinada à garagens possui 258m<sup>2</sup>.

##### - unidade básica

No estudo de caso 2 a menor unidade que compreende um conjunto de tarefas repetitivas é o pavimento, portanto a unidade básica escolhida é um pavimento.

Pode-se considerar como unidade básica um bloco, mas neste projeto o número de blocos é pequeno, portanto poucas repetições em relação à escolha do pavimento.

Sendo que o projeto apresenta 10 blocos com 3 pavimentos tipo, o número de unidades é 30.

- limitações

A subestrutura e a estrutura do nível de garagens, e outros trabalhos como a execução de reservatórios, colocação de portas externas, pára-raios, estrutura de madeira, cobertura e outros serviços, que não se apresentam na unidade repetitiva, não são considerados no planejamento.

- operações envolvidas

O orçamento da obra fornece os dados necessários para obtenção das operações que compõem uma unidade básica. As operações são apresentadas nos QUADROS 8 e 9 no Apêndice 1.

- rede lógica

As redes lógicas correspondentes à execução de um pavimento estão representadas nas FIGURAS 22, 23 e 24.

- necessidade de recursos

Com as medições dos serviços apresentados no orçamento calcula-se a necessidade de mão de obra para cada operação, apresentadas nos QUADROS 8 e 9 no Apêndice 1.

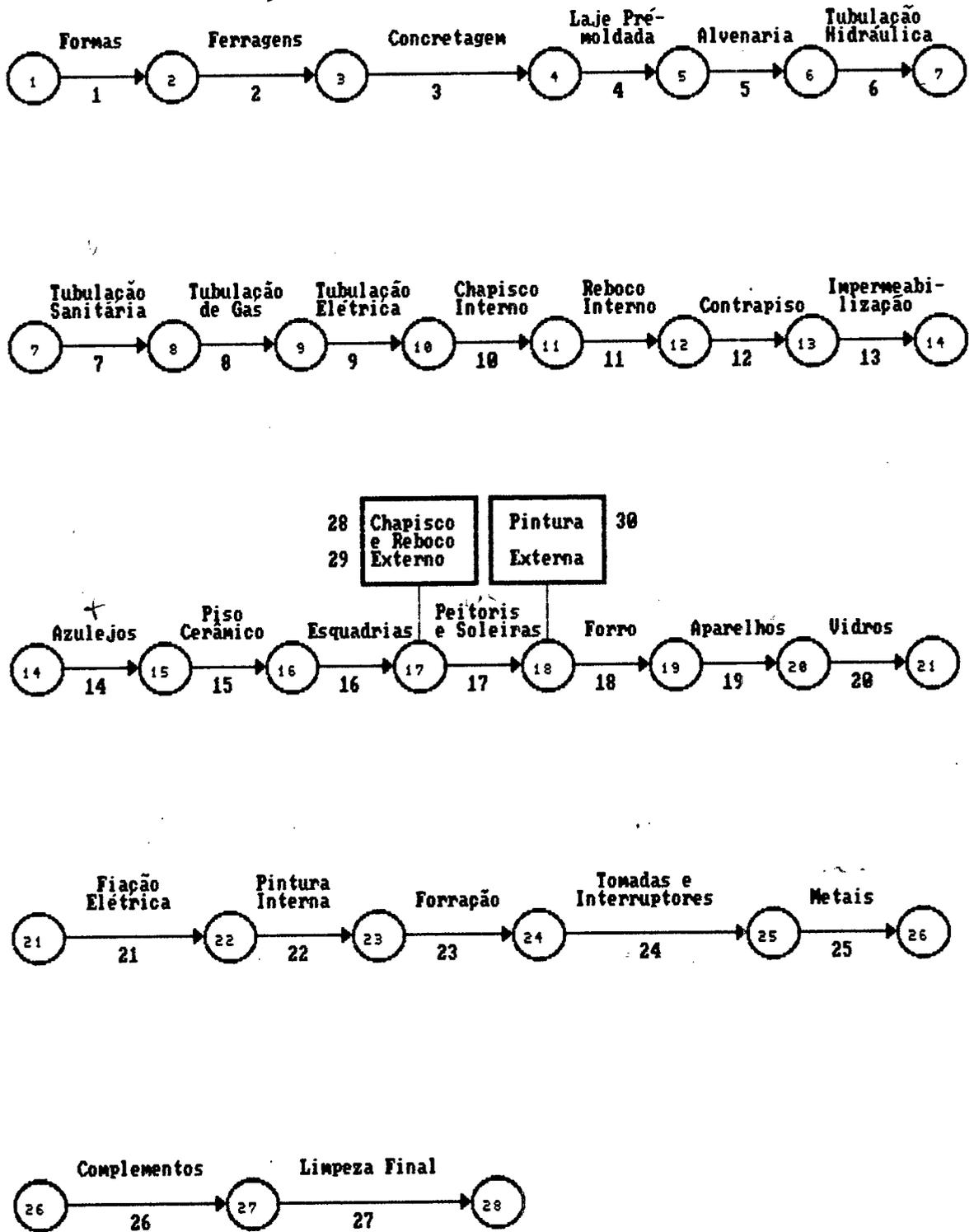


FIGURA 22. Rede linear, sem operações em paralelo - estudo de caso 2 - rede 1.

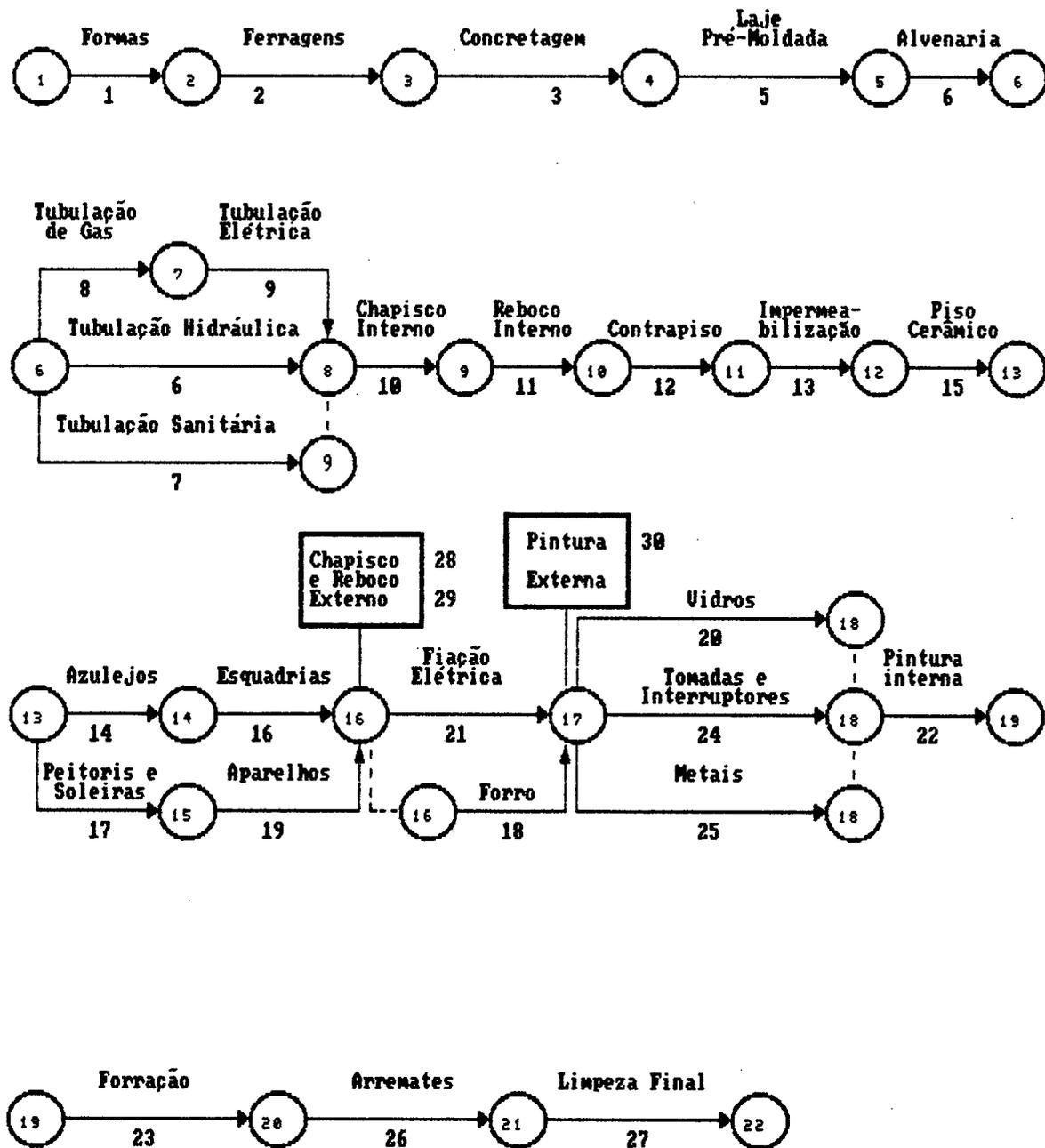


FIGURA 23. Rede com operações em paralelo - estudo de caso 2 - rede 2.

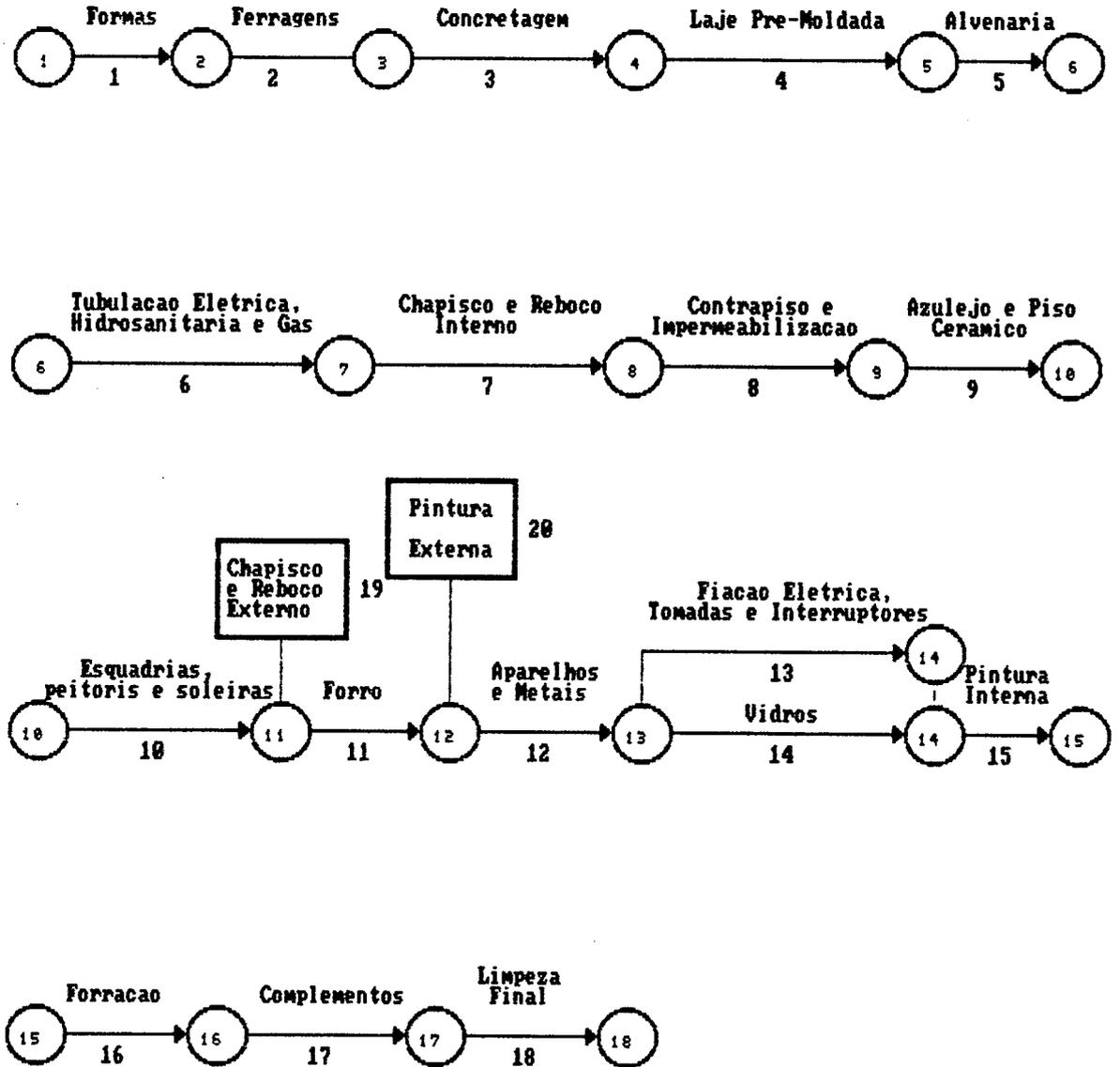


FIGURA 24. Rede com operações agrupadas - estudo de caso 2 - rede 3.

- escolha das equipes

São escolhidas equipes de tamanho pequeno e grande. Estas equipes são escolhidas de modo a suprir a necessidade de recursos e são apresentadas nos QUADROS 8 e 9 no Apêndice 1.

- duração das operações

Com as equipes escolhidas calcula-se as durações das operações (EQUAÇÃO 5). Estes resultados estão nos QUADROS 10 e 11 no Apêndice 1.

Com as durações do caminho crítico (EQUAÇÃO 6) de cada rede determina-se a duração de uma unidade básica DU.

Para a rede 1:  $DU_A = 238,5$  dias;

$DU_B = 83,0$  dias;

Para a rede 2:  $DU_A = 202,0$  dias;

$DU_B = 73,5$  dias;

Para a rede 3:  $DU_A = 221,5$  dias;

$DU_B = 66,0$  dias;

- ritmo de trabalho

O prazo máximo da obra, fornecido pela empresa construtora é 18 meses. Para os serviços iniciais, preparação do terreno e fundações são reservados um período de 2 meses. Considera-se um período de 3 meses para absorção de atrasos, contratempos e outras considerações no planejamento. Portanto, a duração de planejamento é 13 meses, o que representa 283 dias.

Determina-se o ritmo de trabalho com a duração de planejamento e o número de unidades, para cada duração unitária (EQUAÇÃO 7).

Para a rede 1:  $R_A = (30 - 1) / (283 - 238,5) = 0,65 \text{ un/dia};$

$R_B = (30 - 1) / (283 - 83,0) = 0,15 \text{ un/dia};$

Para a rede 2:  $R_A = (30 - 1) / (283 - 199,0) = 0,35 \text{ un/dia};$

$R_B = (30 - 1) / (283 - 72,5) = 0,14 \text{ un/dia};$

Para a rede 3:  $R_A = (30 - 1) / (283 - 221,5) = 0,47 \text{ un/dia};$

$R_B = (30 - 1) / (283 - 66,0) = 0,13 \text{ un/dia};$

- fator de multiplicação de recursos

Para cada ritmo estabelecido determina-se o fator de multiplicação de recursos (EQUAÇÃO 11), apresentados nos QUADROS 10 e 11 no Apêndice 1.

- estratégia de ataque

Para a construção desses blocos de edifícios considera-se a execução das formas como tarefa determinante da estratégia de ataque à obra, pois para a execução das formas do próximo pavimento existe um intervalo correspondente à execução das ferragens, concretagem e a laje do pavimento em execução. Em consequência surge a necessidade de um ataque de blocos mínimo, para evitar a ociosidade das equipes de formas.

Este número de blocos mínimo a serem atacados é determinado pela EQUAÇÃO 12.

Neste estudo, um aumento de tamanho foi dado às equipes responsáveis pelas operações da estrutura, para que o número de blocos atacados não resultasse maior do que o existente. Este aumento de tamanho das equipes resulta na diminuição de  $t_t$  (soma das durações das operações determinantes da estratégia de ataque).

$$n_B = R \cdot \left\lceil \frac{t_A}{t_B} \right\rceil$$

Para a rede 1:  $n_{BA} = 9$  blocos - ataca-se os 10 blocos.

$n_{BB} = 2$  blocos - ataca-se de 2 em 2 blocos.

Para a rede 2:  $n_{BA} = 5$  blocos - ataca-se 5 + 5 blocos.

$n_{BB} = 2$  blocos - ataca-se de 2 em 2 blocos.

Para a rede 3:  $n_{BA} = 8$  blocos - ataca-se os 10 blocos.

$n_{BB} = 2$  blocos - ataca-se de 2 em 2 blocos.

Analisando-se as operações da rede, pode-se dividir a obra em três etapas:

- A primeira etapa finaliza no início da execução do reboco externo, pois tem-se a necessidade física de se concluir um pavimento antes do início do próximo. Devido à execução das formas, esta etapa é caracterizada pela sequência de ataque do mesmo pavimento de bloco a bloco (1º pavimento do 1º bloco, 1º pavimento do 2º bloco, 1º pavimento do 3º bloco, etc.).

- Na segunda etapa, para executar o chapisco, o reboco e a pintura externos, é necessário o ataque de um bloco inteiro, de cima para baixo.

- Na terceira etapa é possível que as operações subsequentes a pintura externa sejam desenvolvidas sequencialmente num mesmo bloco. Em função da limpeza e conservação dos serviços é

conveniente que esta seqüência seja do terceiro para o primeiro pavimento de um mesmo bloco.

Esta diferenciação de ataque à obra origina escalas distintas na elaboração do gráfico da Linha de Balanço.

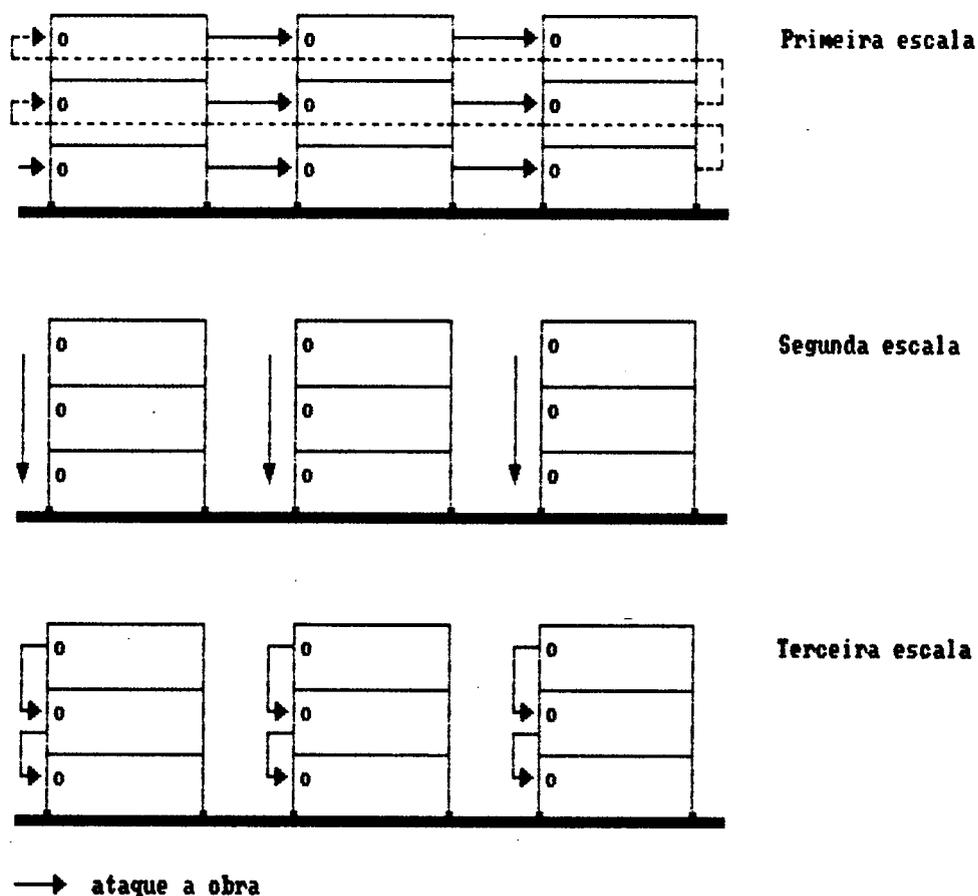


FIGURA 25 Esquema de ataque à obra.

Para melhor entendimento do ataque à obra ver esquema da FIGURA 25, onde:

- Primeira escala : pavimentos iguais em todos os blocos;
- Segunda escala : blocos inteiros (fachadas);
- Terceira escala : pavimentos distintos em um mesmo bloco;

A segunda e terceira escalas são iguais. O que as diferenciam é o ataque externo ao bloco na segunda escala e o

ataque interno ao bloco na terceira escala. Ambas são atacadas do último ao primeiro pavimento.

Na FIGURA 26, chama-se escala 1 a primeira escala e escala 2 as segunda e terceira escalas.

A operação reboco externo, na escala 2, deve ser realizada após a operação colocação de esquadrias na escala 1.

Na escala 2, o terceiro pavimento é atacado no início, enquanto que na escala 1 ele é o último a ser atacado. Desta maneira, para que a operação reboco externo seja realizada no terceiro pavimento do primeiro bloco, na escala 2, é necessário que a operação esquadrias tenha sido realizada no terceiro pavimento do primeiro bloco na escala 1.

Esta diferenciação de escalas origina um tempo ocioso. Este tempo ocioso é enquadrado nos três meses que foram reservados, na determinação da duração do planejamento.

- necessidade total de recursos

A necessidade total de recursos para cada operação é determinada através da EQUAÇÃO 15 e estão apresentadas nos QUADROS 12, 13 e 14 no Apêndice 1.

A necessidade total de recursos resulta:

Para a rede 1:  $NTR_A = 18.559,5$  homens-dias;

$NTR_B = 34.423,0$  homens-dias;

Para a rede 2:  $NTR_A = 20.063,3$  homens-dias;

$NTR_B = 37.828,9$  homens-dias;

Para a rede 3:  $NTR_A = 18.429,4$  homens-dias;

$NTR_B = 33.373,9$  homens-dias;

- quantidade de recursos improdutivos

A quantidade de recursos improdutivos de cada operação é determinada pela EQUAÇÃO 19. Estes valores estão apresentados nos QUADROS 12, 13 e 14 no Apêndice 1.

A quantidade total de recursos improdutivos é:

Para a rede 1:  $RIA = 1.069,28$  homens-dias;

$RI_B = 16.626,67$  homens-dias;

Para a rede 2:  $RIA = 2.848,80$  homens-dias;

$RI_B = 19.154,46$  homens-dias;

Para a rede 3:  $RIA = 1.567,30$  homens-dias;

$RI_B = 18.477,55$  homens-dias;

- traçado do gráfico da linha de balanço

A FIGURA 26 é o Gráfico da Linha de Balanço para o estudo que fornece a menor quantidade de recursos improdutivos para este estudo de caso. Porém, é o estudo que determina o maior espalhamento da obra (todos os blocos são atacados inicialmente).

O Gráfico da Linha de Balanço é traçado com a rede 1 e as durações e ritmo obtidos com a escolha da equipe de tamanho pequeno, o que resulta duração e ritmo grande.

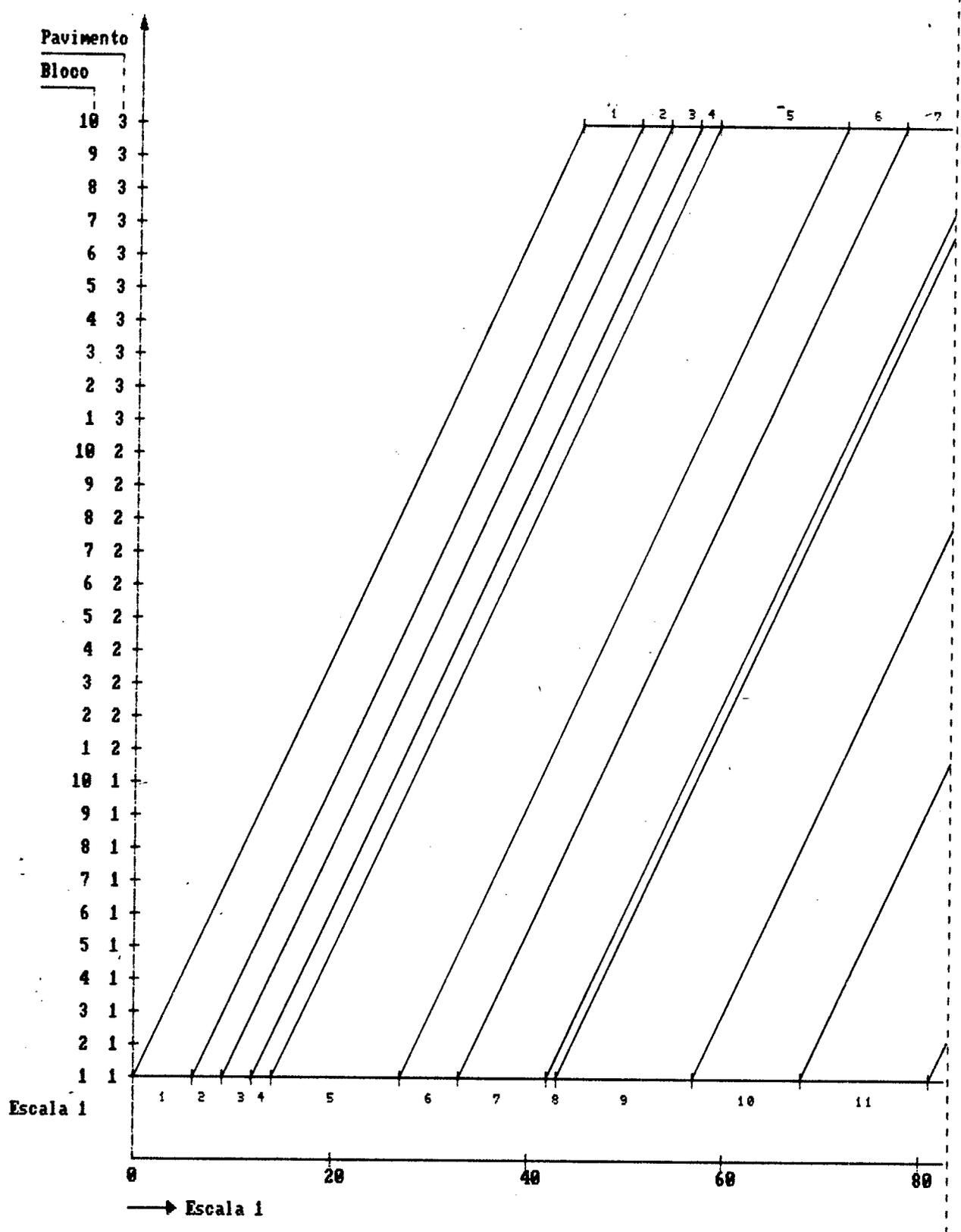
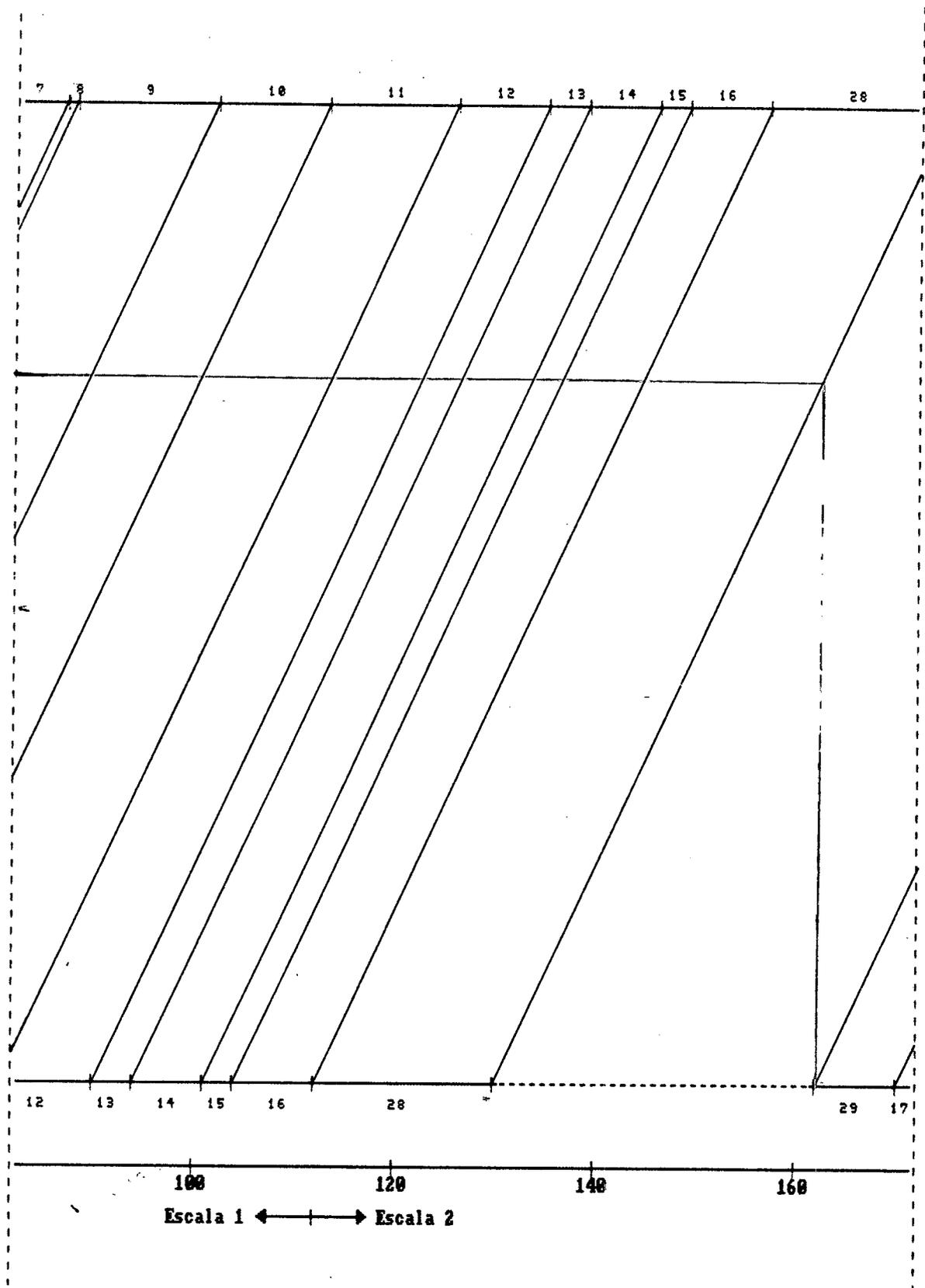
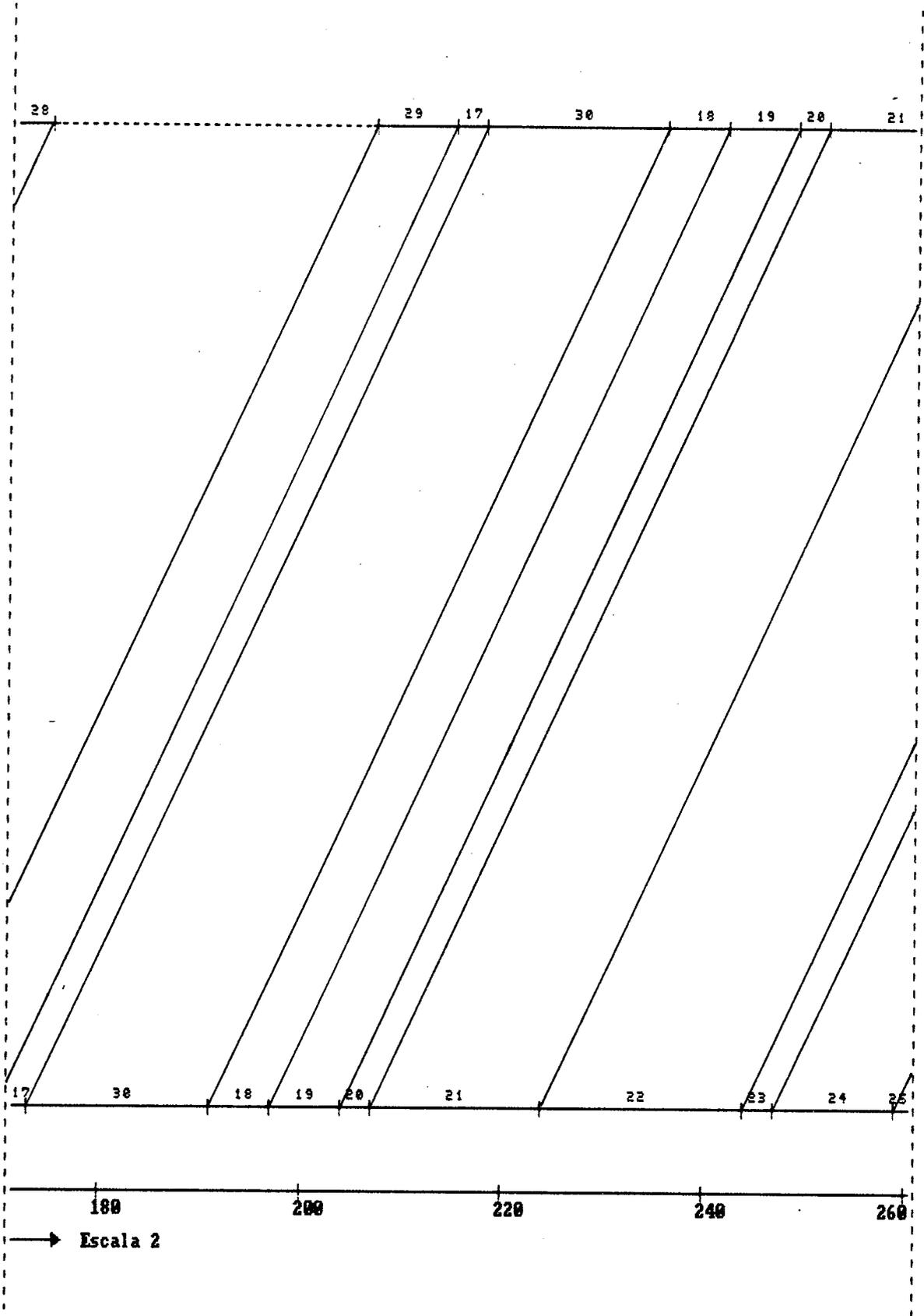
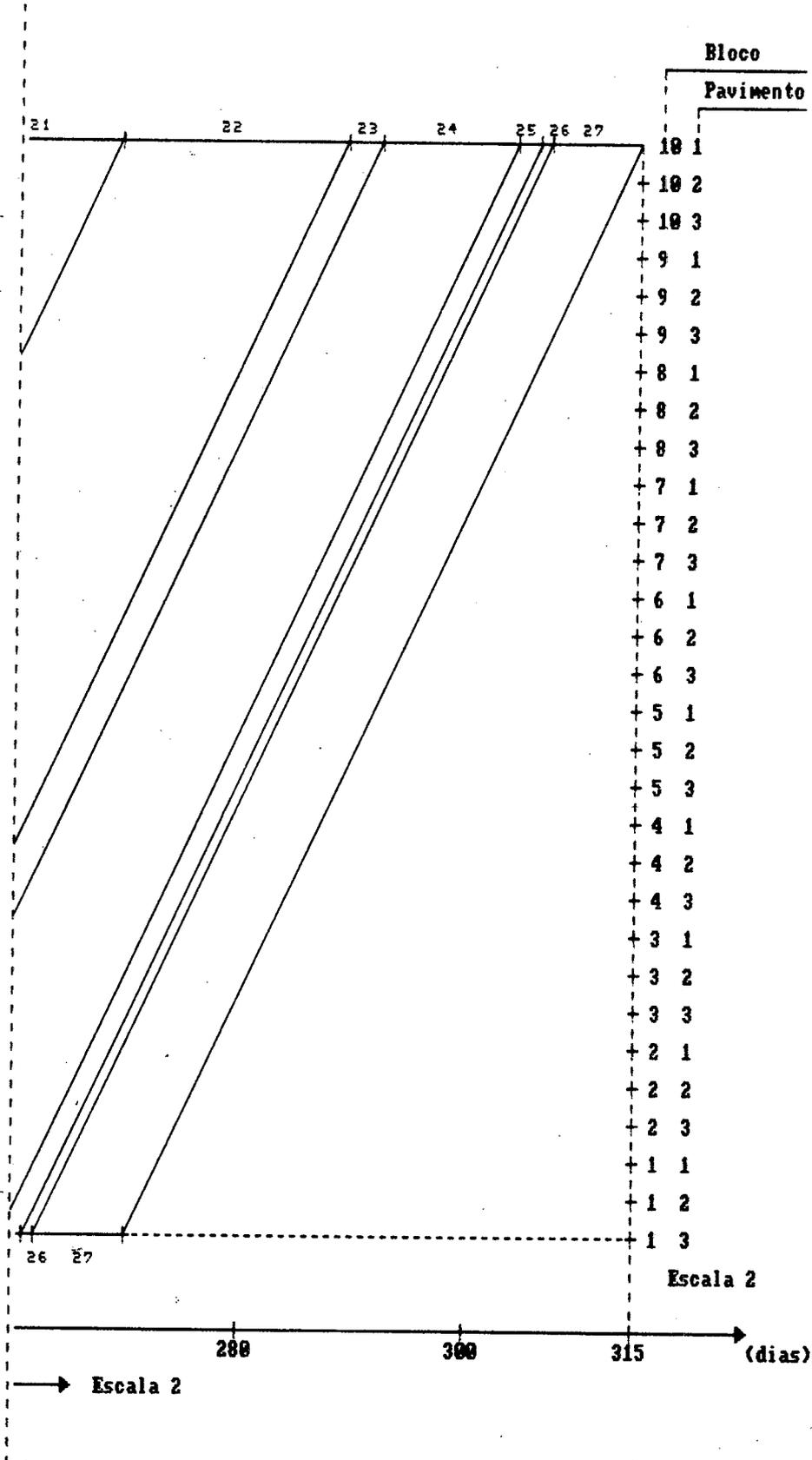


FIGURA 26 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 2.







#### 4.3. ESTUDO DE CASO NUMERO 3

##### - características

Este estudo de caso consiste no projeto do Conjunto Habitacional Pasto do Gado, elaborado pela COHAB/SC, construído na cidade de Florianópolis SC.

Este conjunto habitacional consiste em 33 blocos de 4 pavimentos com apartamentos de 2 dormitórios e 73 blocos de 4 pavimentos com apartamentos de 3 dormitórios. A área do bloco com apartamentos de 3 dormitórios é 866,40 m<sup>2</sup> e a área do bloco de 2 dormitórios é de 1549,80 m<sup>2</sup>.

Este projeto está dividido para duas construtoras: Construtora A e Construtora B. O objeto de contrato da construtora A é a execução de 20 blocos de apartamentos com 2 dormitórios e 29 blocos de apartamentos com 3 dormitórios. Para a construtora B o contrato é de realização de 13 blocos de apartamentos com 2 dormitórios e 44 blocos de apartamentos com 3 dormitórios.

Em função do estudo, considerar-se-á apenas o planejamento para a construtora A, sendo que para a construtora B o processo de planejamento é semelhante.

O projeto apresenta também a construção de um centro comunitário.

- unidade básica

A menor unidade que representa um conjunto de tarefas repetitivas é um pavimento.

Como os dois blocos (blocos de dois e três dormitórios) apresentam pavimentos de tamanhos diferentes, é necessário encontrar um pavimento representativo.

A área de um pavimento do bloco de dois dormitórios (387,45 m<sup>2</sup>) é aproximadamente igual ao dobro da área de um pavimento do bloco de três dormitórios (216.6 m<sup>2</sup>).

Considerando-se o bloco de dois dormitórios como dois blocos, encontram-se pavimentos com áreas aproximadamente iguais, ou seja, com uma diferença de área inferior a 11%.

Desta forma pode-se considerar como unidade básica um pavimento. Para a construtora A, tem-se:

- 2 vezes 20 blocos de 2 dormitórios = 40 blocos;
- 29 blocos de 3 dormitórios = 29 blocos;

Cada bloco possui 4 pavimentos. Portanto, para os 69 blocos obtém-se 276 pavimentos.

O pavimento representativo é o do bloco de três dormitórios, o que gera uma folga em relação ao pavimento do bloco de dois dormitórios. Esta folga é absorvida pelas diferenças de áreas internas entre os dois blocos.

- limitações

A instalação do canteiro, limpeza do terreno, acessos e ruas, locação da obra, subestrutura e outros trabalhos como a construção do centro comunitário, execução de reservatórios,

colocação de portas externas, pára-raios e instalações mecânicas, que não apresentam-se na unidade repetitiva, não são considerados no planejamento. Estes serviços devem ser planejados separadamente.

- operações envolvidas

O orçamento da obra fornece os dados necessários para obtenção das operações que compõem uma unidade básica. As operações estão apresentadas nos QUADROS 15 e 16 no Apêndice 1.

- rede lógica

Determinadas as operações, constrói-se as redes lógica correspondente à execução de um pavimento, o qual será repetido 276 vezes pela construtora A. As redes estão representadas nas FIGURAS 27, 28 e 29.

- necessidade de recursos

A necessidade de mão de obra é determinada de acordo com as quantidades de serviços apresentadas pelo orçamento e as constantes de mão de obra fornecidas pela TCPO 8.

Os resultados da necessidade de recursos estão nos QUADROS 15 e 16 no Apêndice 1.

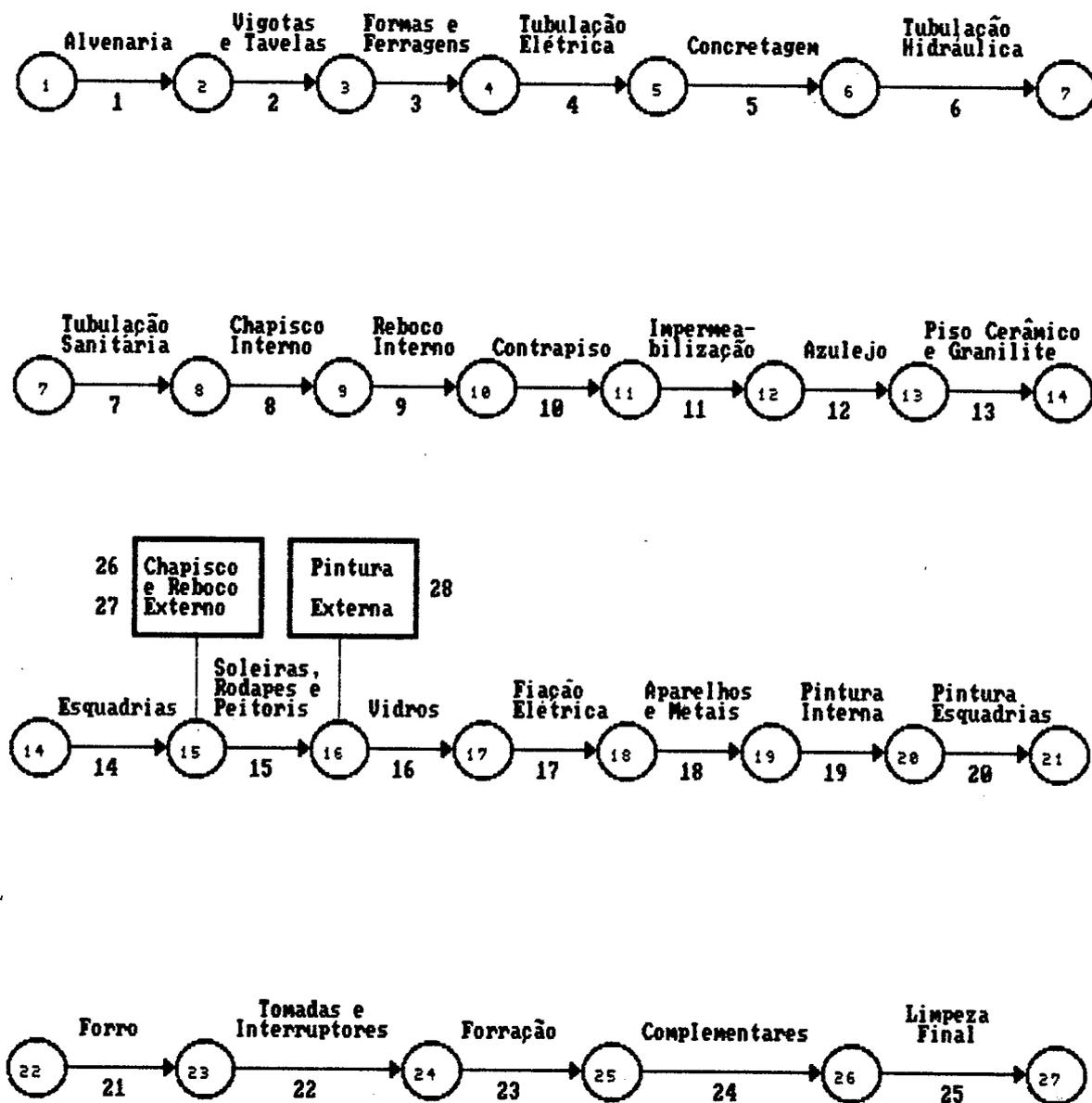


FIGURA 27 Rede linear, sem operações em paralelo - estudo de caso 3 - rede 1.

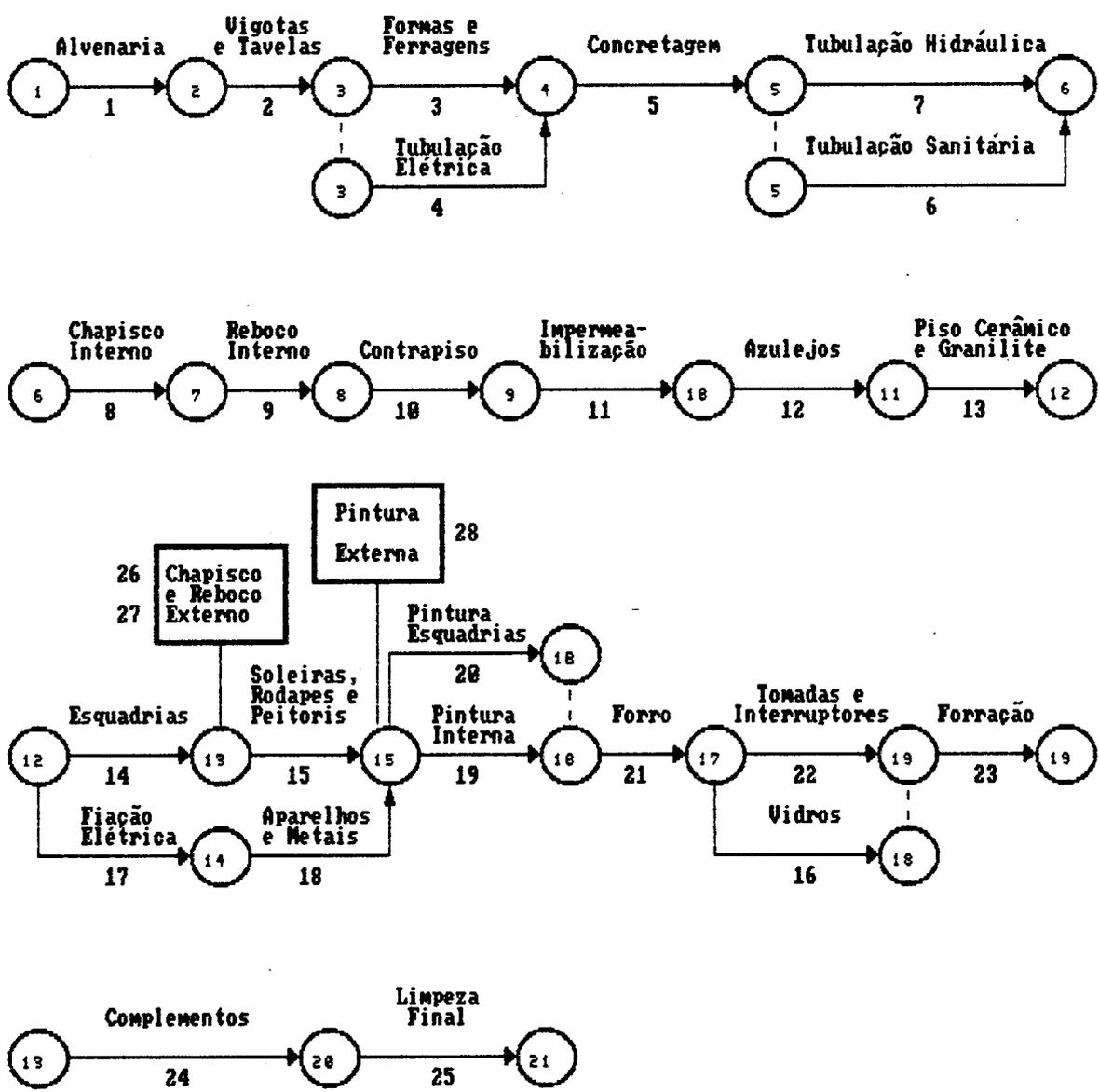


FIGURA 28 Rede com operações em paralelo - estudo de caso 3 - rede 2.

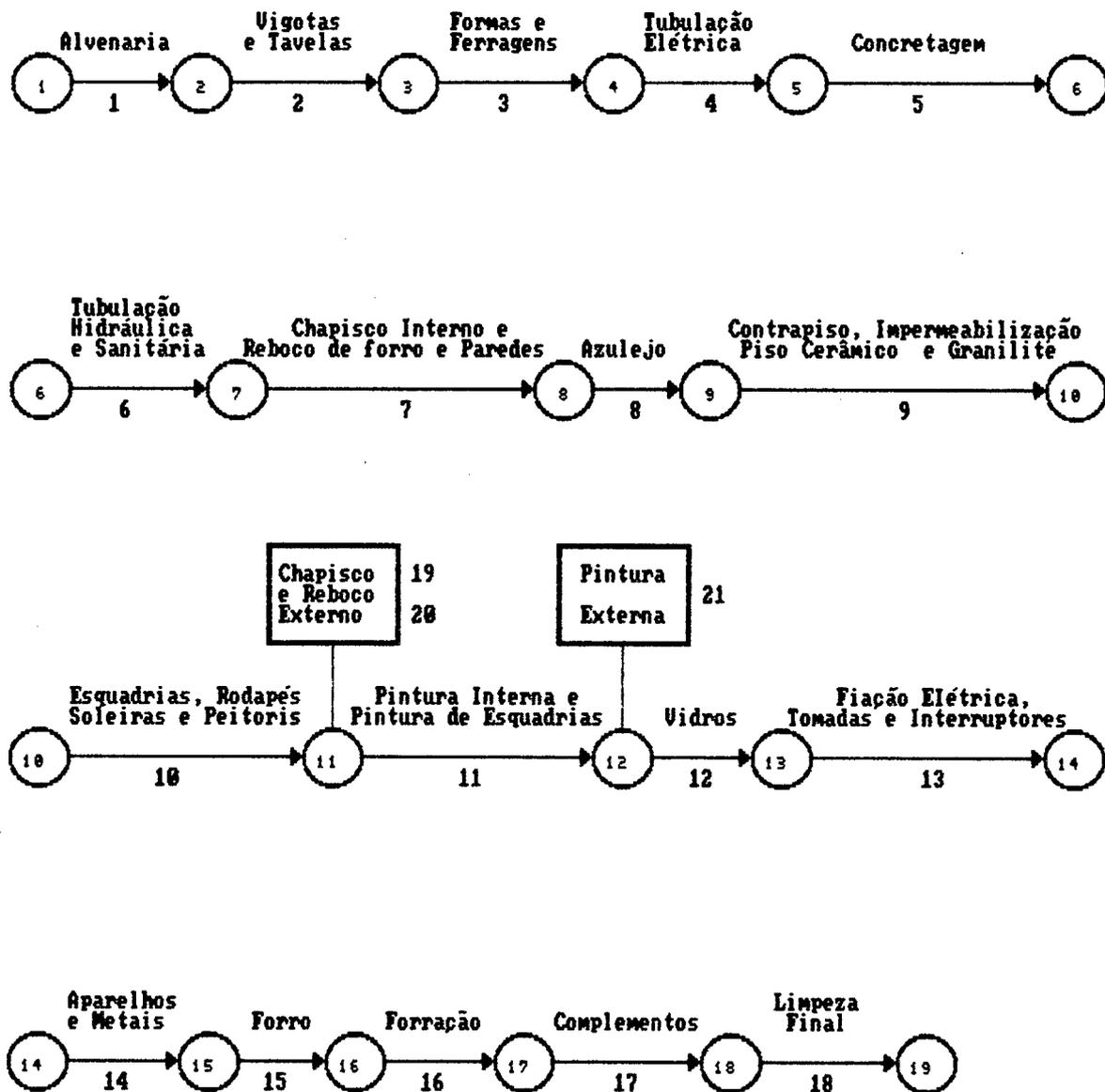


FIGURA 29 Rede com operações agrupadas - estudo de caso 3 - rede 3.

- escolha das equipes

Para suprir a necessidade de recursos são escolhidas as equipes de trabalho. São escolhidas equipes de tamanhos pequeno e grande, de acordo com a necessidade de recursos de cada operação.

As equipes são apresentadas nos QUADROS 15 e 16 no Apêndice 1.

- duração das operações

Com as equipes de trabalhadores calcula-se as durações das operações através da EQUAÇÃO 5. Com as operações do caminho crítico determina-se a duração de uma unidade básica DU (EQUAÇÃO 6). As durações, de cada operação, estão apresentadas nos QUADROS 17 e 18 no Apêndice 1.

As durações unitárias para cada unidade são:

Para a rede 1:  $DU_A = 196,0$  dias;

$DU_B = 86,5$  dias;

Para a rede 2:  $DU_A = 168,5$  dias;

$DU_B = 73,0$  dias;

Para a rede 3:  $DU_A = 165,0$  dias;

$DU_B = 83,5$  dias;

- ritmo de trabalho

O prazo máximo da obra fornecido pela COHAB/SC é de 26 meses, dos quais 3 meses são reservados para os serviços iniciais e subestrutura. Considera-se um período de 5 meses para absorção

de atrasos. contratempos e outras considerações no planejamento. Portanto a duração da obra para planejamento pela Linha de Balanço é 18 meses (400 dias).

O cálculo dos ritmos R é realizado através da EQUAÇÃO 7.

Para a rede 1:  $R_A = (276 - 1) / (400 - 196,0) = 1,35$  un/dia;

$R_B = (276 - 1) / (400 - 86,5) = 0,88$  un/dia;

Para a rede 2:  $R_A = (276 - 1) / (400 - 168,5) = 1,12$  un/dia;

$R_B = (276 - 1) / (400 - 73,0) = 0,84$  un/dia;

Para a rede 3:  $R_A = (276 - 1) / (400 - 165,0) = 1,17$  un/dia;

$R_B = (276 - 1) / (400 - 83,5) = 0,87$  un/dia;

- fator de multiplicação de recursos

O número de equipes, necessárias à execução das operações de cada rede, é obtido através da EQUAÇÃO 11 e está apresentado nos QUADROS 17 e 18 no Apêndice 1.

- estratégia de ataque

A estratégia de ataque neste estudo de caso apresenta as mesmas características do estudo de caso 2.

Neste estudo de caso considera-se a execução da alvenaria como tarefa determinante da estratégia de ataque à obra, pois para a execução da alvenaria do próximo pavimento existe um intervalo correspondente a colocação de formas das vergas, vigas, escada, laje, colocação das ferragens das lajes e vigotas, tubulação elétrica e concretagem. Em consequência surge a

necessidade de um ataque de blocos mínimo, para evitar a ociosidade das equipes de alvenaria. Este número de blocos mínimo a serem atacados é determinado pela EQUAÇÃO 12.

Para a rede 1:  $n_{BA} = 48$  blocos - ataca-se os 69 blocos.

$n_{BE} = 43$  blocos - ataca-se os 69 blocos.

Para a rede 2:  $n_{BA} = 28$  blocos - ataca-se 28 + 41 blocos.

$n_{BE} = 27$  blocos - ataca-se 27 + 42 blocos.

Para a rede 3:  $n_{BA} = 42$  blocos - ataca-se os 69 blocos.

$n_{BE} = 21$  blocos - ataca-se 21 + 21 + 27

blocos.

Analisando-se as operações da rede, pode-se dividir a obra em três etapas:

- A primeira etapa finaliza no início da execução do reboco externo, nesta tem-se a necessidade física de se concluir um pavimento antes do início do próximo. Esta etapa é caracterizada pela sequência de ataque do mesmo pavimento de bloco a bloco (devido à execução da alvenaria);

- Na segunda etapa, para executar o chapisco e o reboco externos, é necessário o ataque de um bloco inteiro, de cima para baixo;

- Na terceira etapa é possível que as operações subsequentes ao reboco externo sejam desenvolvidas sequencialmente num mesmo bloco. Em função da limpeza e conservação dos serviços é conveniente que esta sequência seja do terceiro para o primeiro pavimento de um mesmo bloco.

Esta diferenciação de ataque à obra origina escalas distintas na elaboração do gráfico da Linha de Balanço:

- Primeira escala : pavimentos iguais em todos os blocos;
- Segunda escala : blocos inteiros;
- Terceira escala : pavimentos distintos em um mesmo bloco;

Como no estudo de caso 2, a diferença de escala origina um tempo ocioso. É o tempo para que a operação esquadrias seja concluída antes de iniciar a operação reboco externo. Este tempo ocioso é enquadrado nos cinco meses reservados para o planejamento.

- necessidade total de recursos

A necessidade total de recursos, em cada operação, é determinada através da EQUAÇÃO 15 e apresentada nos QUADROS 19, 20 e 21 no Apêndice 1.

A necessidade total de recursos resulta:

Para a rede 1:  $NTR_A = 153.321,8$  homens-dias;  
 $NTR_B = 172.084,0$  homens-dias;  
 Para a rede 2:  $NTR_A = 147.841,3$  homens-dias;  
 $NTR_B = 173.094,3$  homens-dias;  
 Para a rede 3:  $NTR_A = 148.343,5$  homens-dias;  
 $NTR_B = 162.167,9$  homens-dias;

- quantidade de recursos improdutivos

A quantidade de recursos improdutivos de cada operação é determinada pela EQUAÇÃO 19. Estes resultados estão apresentados nos QUADROS 19, 20 e 21 no Apêndice 1.

A quantidade de recursos improdutivos resulta:

Para a rede 1:  $RI_A = 5.289,20$  homens-dias;  
 $RI_B = 19.692,23$  homens-dias;  
Para a rede 2:  $RI_A = 7.710,73$  homens-dias;  
 $RI_B = 18.493,76$  homens-dias;  
Para a rede 3:  $RI_A = 4.286,00$  homens-dias;  
 $RI_B = 15.034,50$  homens-dias;

- traçado do gráfico da linha de balanço

Neste estudo de caso, o estudo que fornece a menor quantidade de recursos improdutivos é obtido na rede 3 com operações agrupadas. As durações e ritmo são obtidos com a escolha da equipe de tamanho pequeno, resultando em duração unitária e ritmo grande.

Porém, este estudo propõe o espalhamento total da obra, ou seja, todos os blocos são atacados inicialmente.

Com a diferenciação de escala, o tempo ocioso devido a conclusão da operação esquadrias antes da realização da operação reboco externo é elevado em função do espalhamento da obra. Assim, escolheu-se traçar o Gráfico da Linha de Balanço com a rede 2 e com as durações e ritmo obtido com a escolha de equipes de tamanho pequeno.

Este estudo é aquele que apresenta um melhor ataque à obra juntamente com menor quantidade de recursos improdutivos.

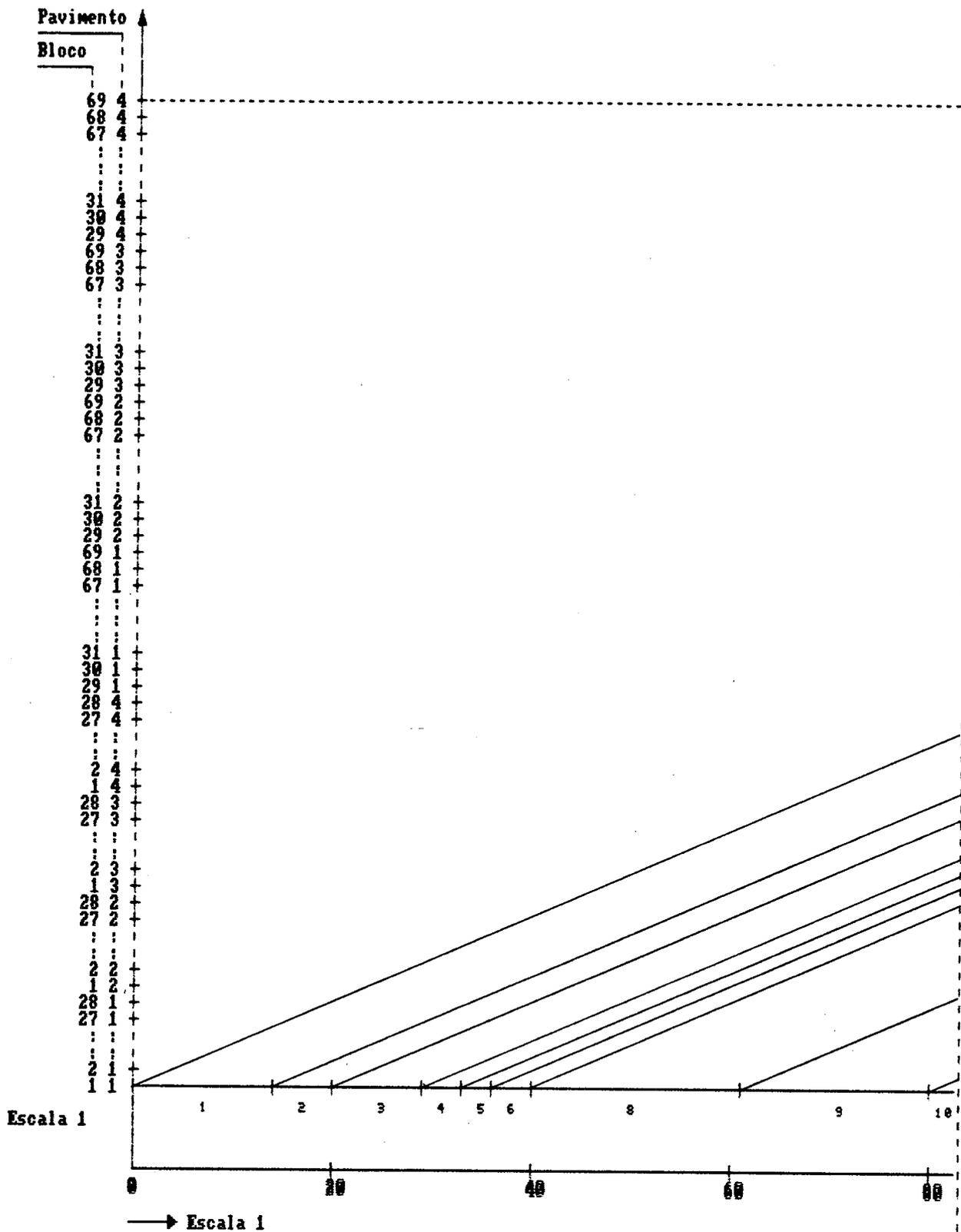
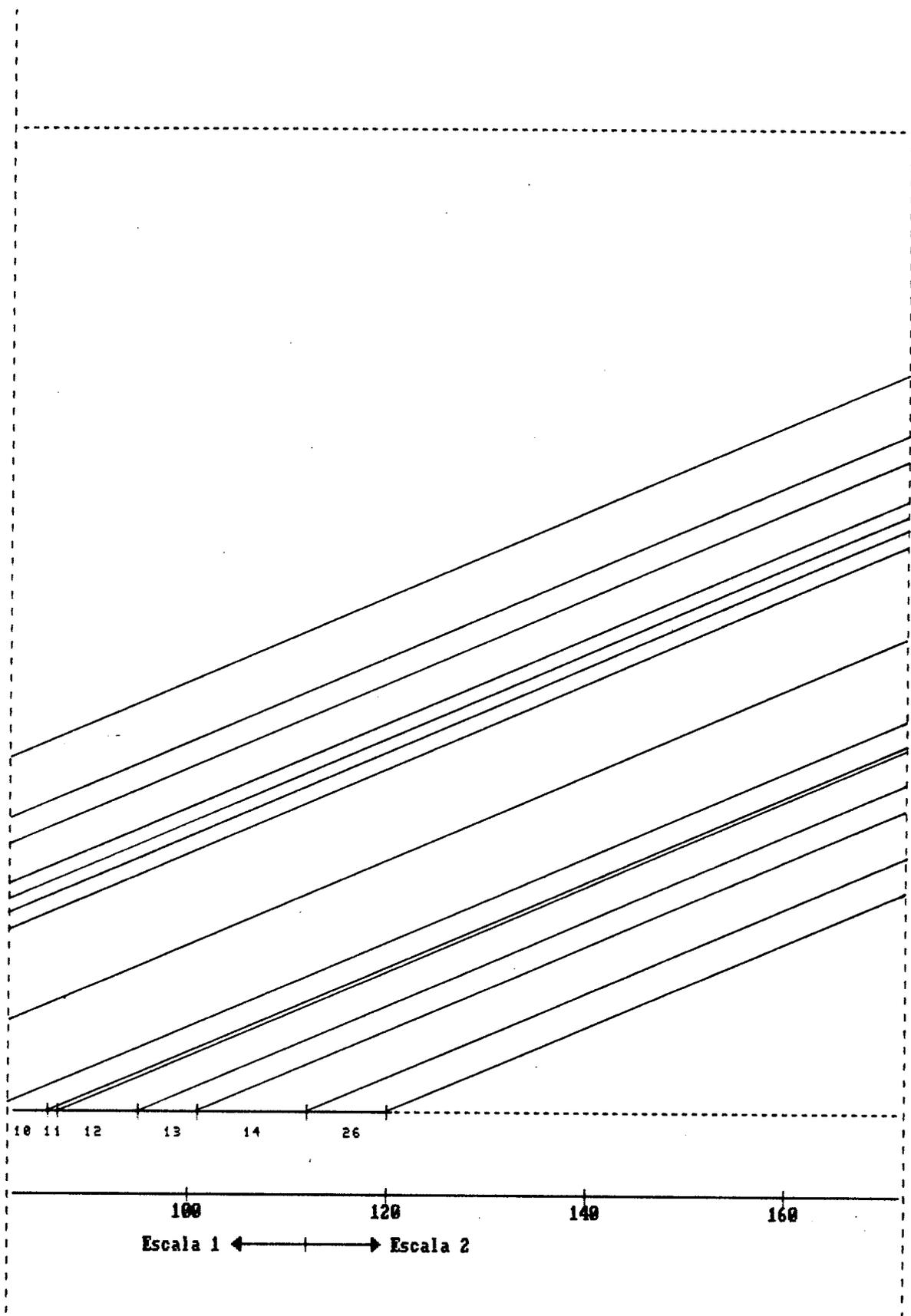
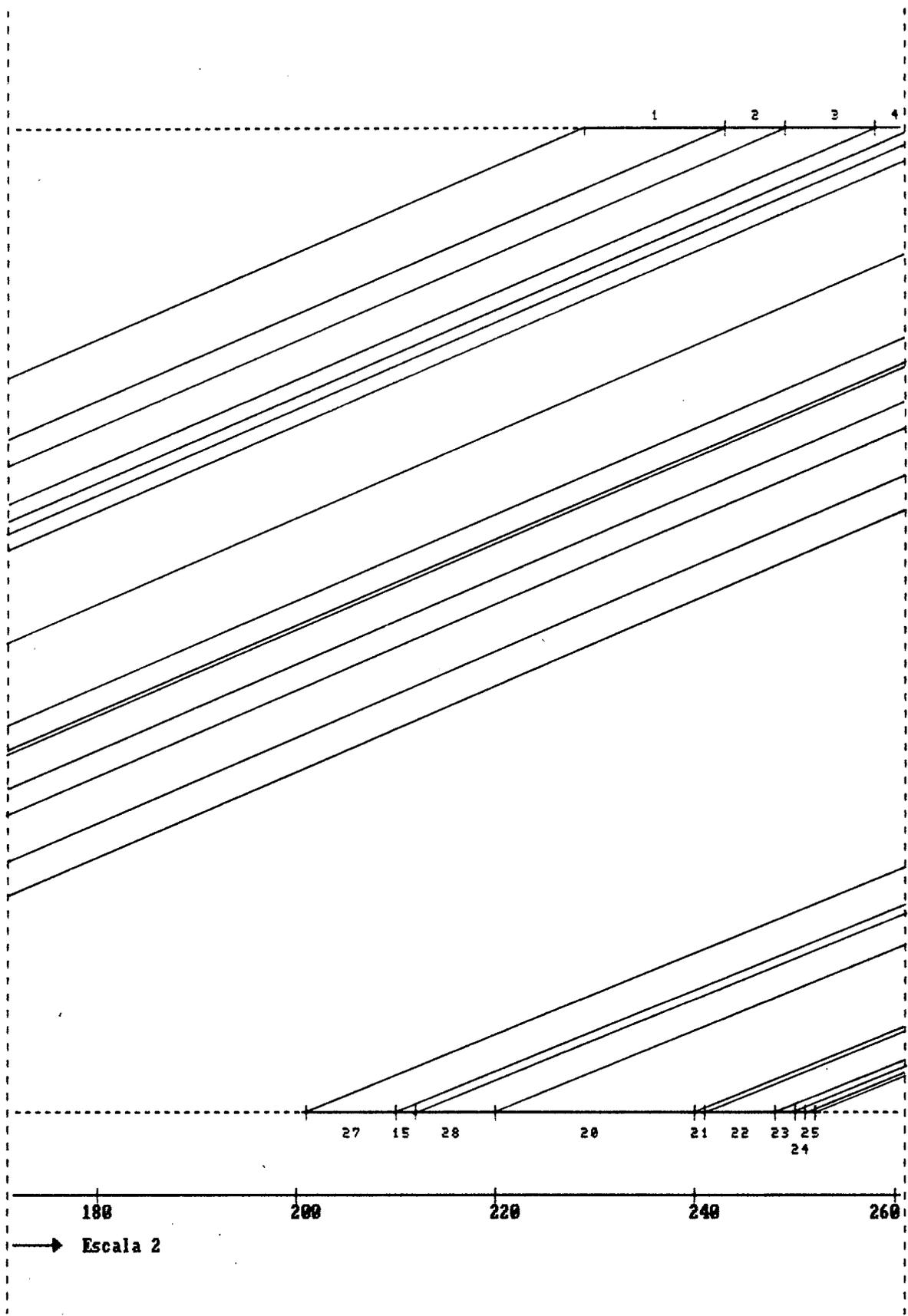
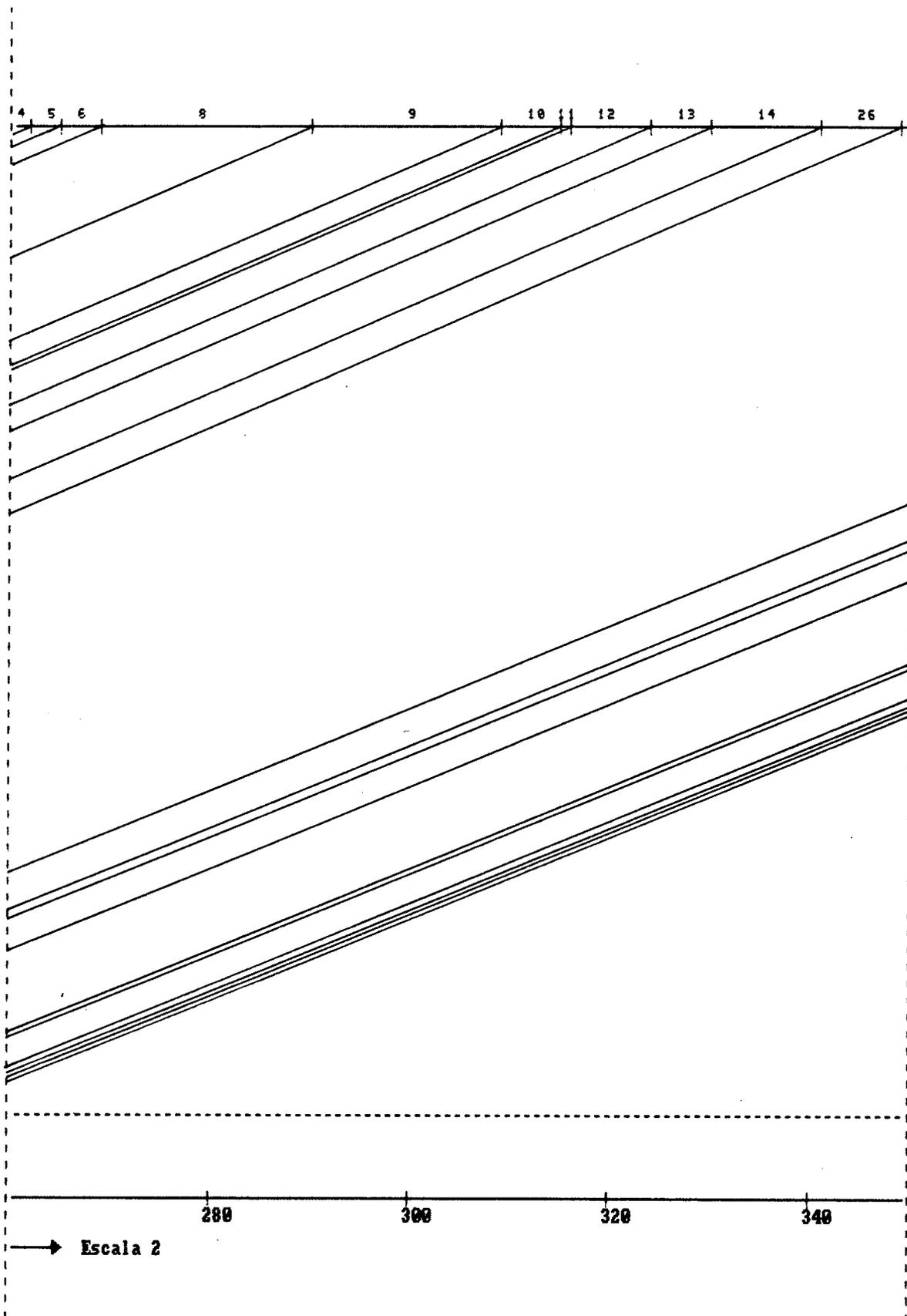
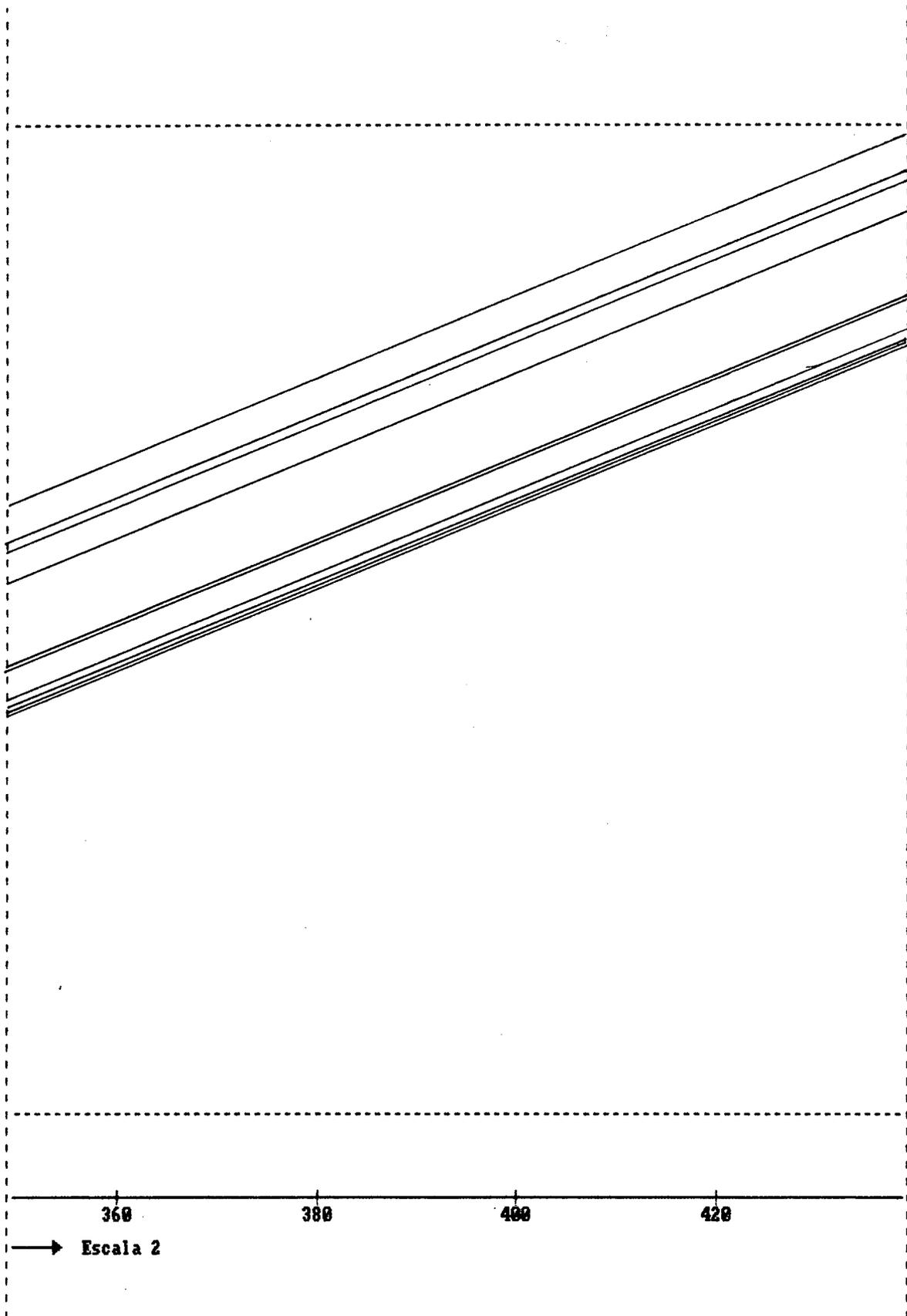


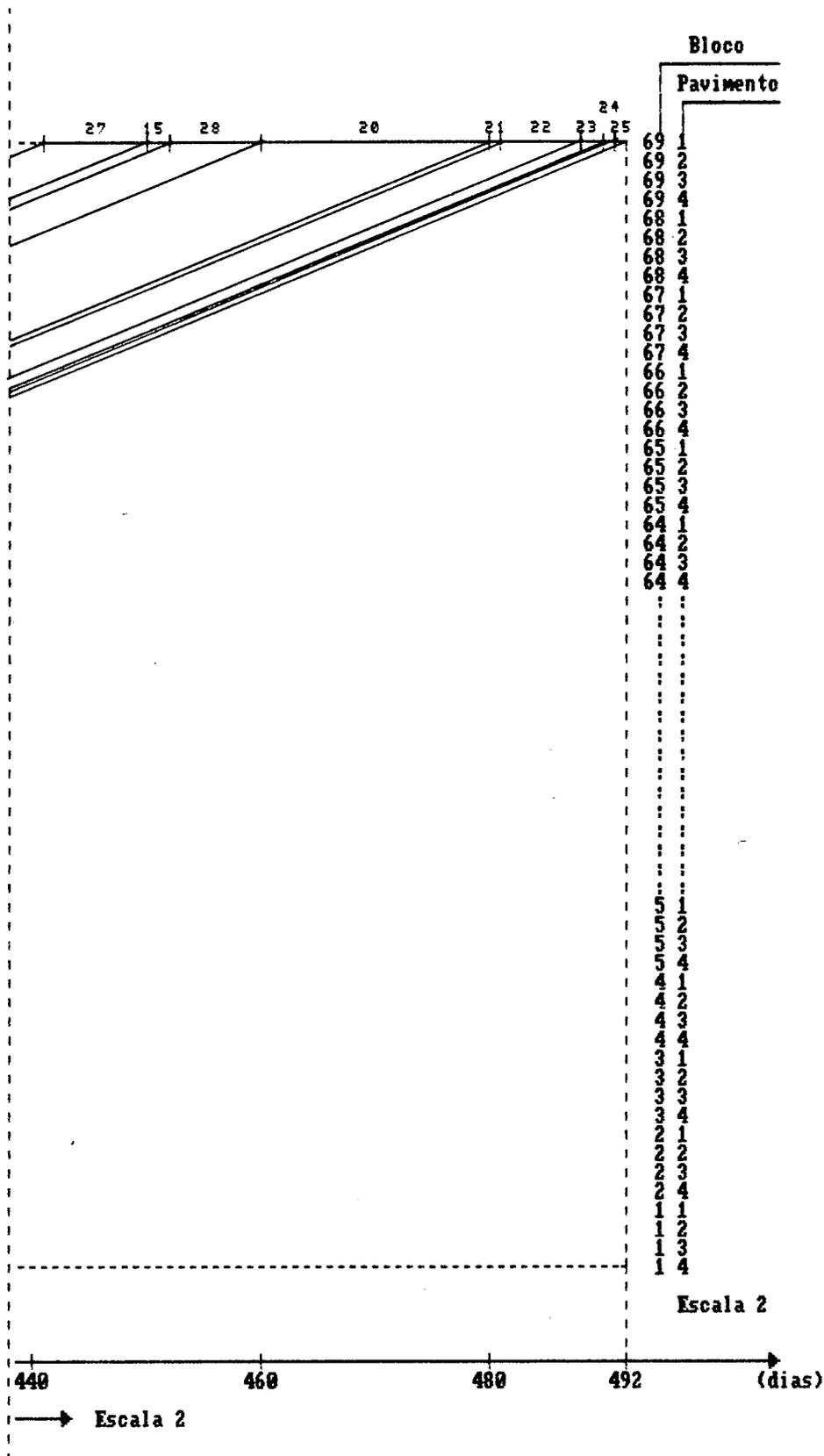
FIGURA 30 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 3.











#### 4.4. ESTUDO DE CASO NUMERO 4.

##### - características

Este estudo de caso consta do projeto do Edifício Residencial Jaguaruna, localizado na cidade de Florianópolis. O edifício é um bloco único de 13 pavimentos, compreendendo um ático e 10 pavimentos tipo, destinados à moradias. O subsolo e o nível térreo são destinados à garagens. A área total construída é 2764,60 m<sup>2</sup>.

##### - unidade básica

A divisão do projeto em seções que apresentam características repetitivas fornece como unidade básica um pavimento tipo. O número de unidades repetitivas é 10.

##### - limitações

Neste projeto a infraestrutura, a cobertura, o nível de garagens, o ático, as instalações mecânicas e outros serviços que não fazem parte da execução da unidade básica, não são considerados no planejamento pelo Método da Linha de Balanço.

##### - operações envolvidas

As operações envolvidas na execução de uma unidade básica são obtidas do orçamento da obra.

Neste estudo é necessário dividir as operações em duas etapas, as quais podem apresentar ritmos diferentes:

- atividades pesadas (realização da estrutura, alvenaria, revestimento de paredes e forros, contrapiso, etc.).
- atividades de acabamento (como acabamentos e revestimentos externos).

Esta divisão é necessária, pois no planejamento de um edifício único a movimentação de pessoal e material é realizada internamente. Para exemplificar, uma operação da segunda etapa, como colocação de piso cerâmico, não poderá iniciar nos primeiros pavimentos enquanto que operações da primeira etapa estão sendo realizadas nos últimos pavimentos, pois a movimentação de pessoal e material danificará o serviço já executado. Portanto, as duas etapas devem ser distintas.

Há ainda outra característica a considerar referente à operações da segunda etapa. Algumas operações devem ser executadas de cima para baixo, ou seja, devem iniciar no último pavimento e serem concluídas no primeiro pavimento. Entre elas pode-se considerar: pisos, vidros, forrações, chapisco, reboco, pintura externa e limpeza.

As operações estão apresentadas nos QUADROS 22 e 23 no Apêndice 1.

- rede lógica

Determinada as relações de dependência entre as operações, bem como o seu desenvolvimento lógico, constrói-se as redes lógicas referentes à construção de um pavimento tipo. As redes estão apresentadas nas FIGURAS 31, 32 e 33.

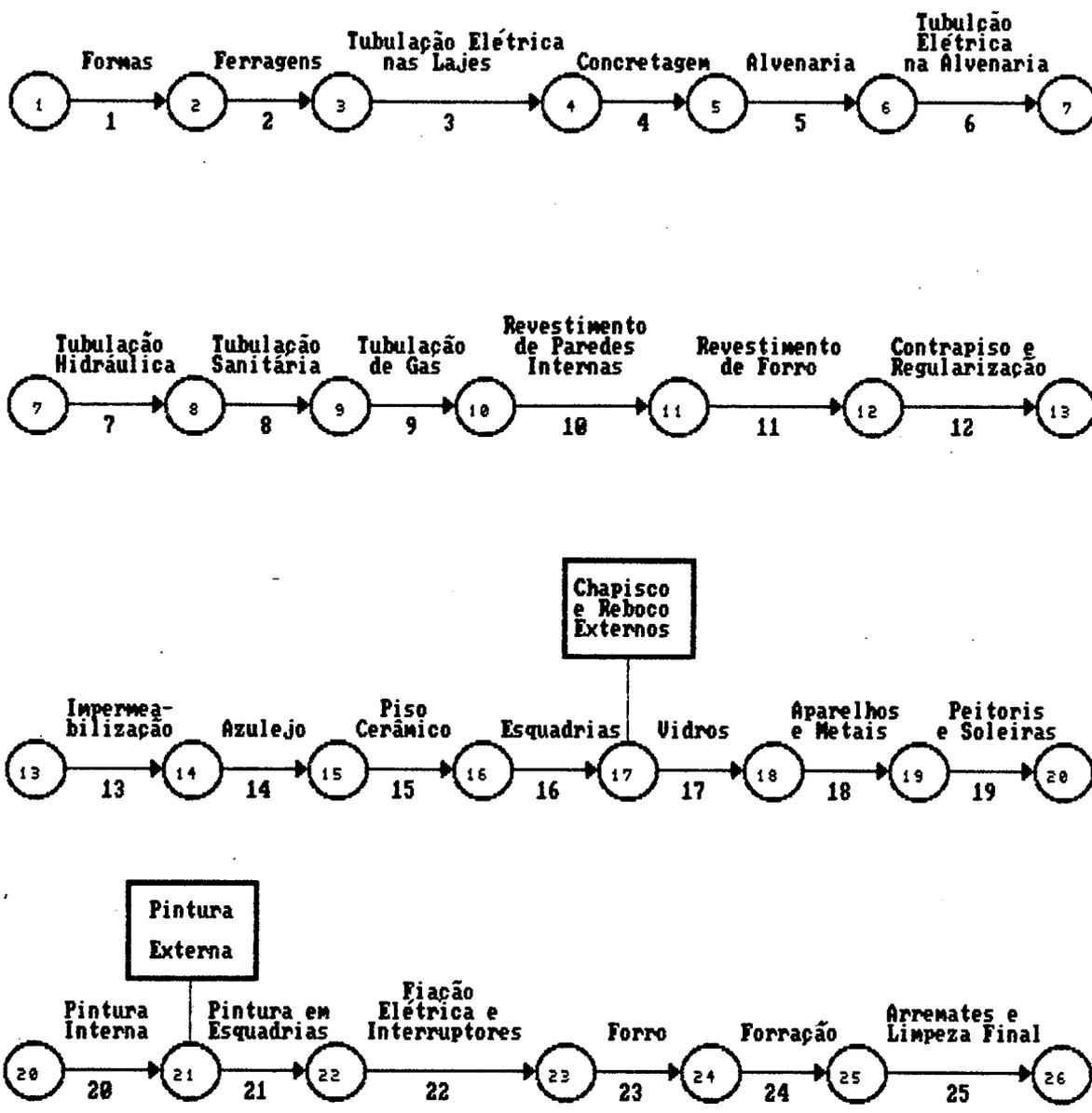


FIGURA 31 Rede linear, sem operações em paralelo - estudo de caso 4 - rede 1.

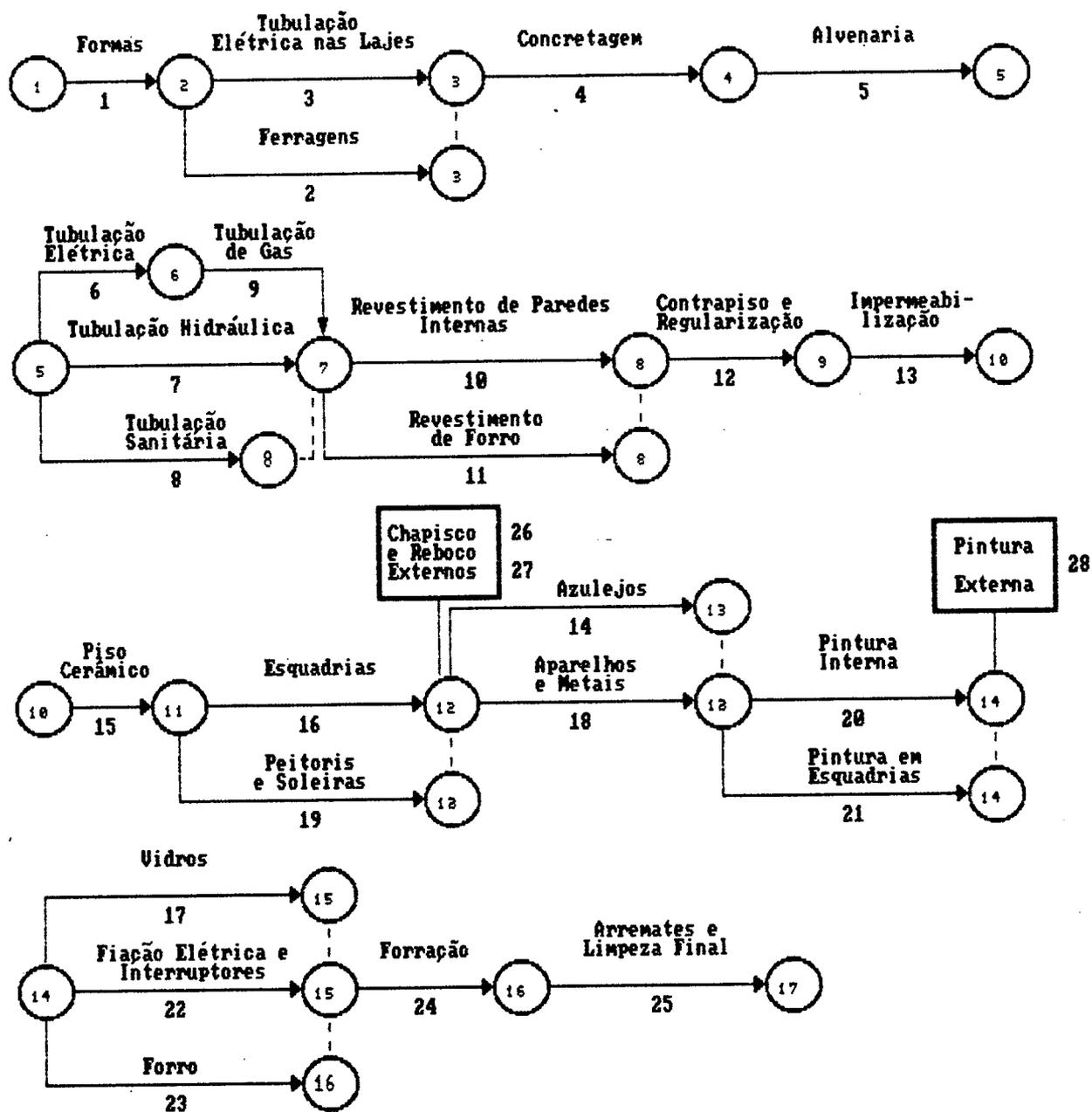


FIGURA 32 Rede com operações em paralelo - estudo de caso 4 - rede 2.

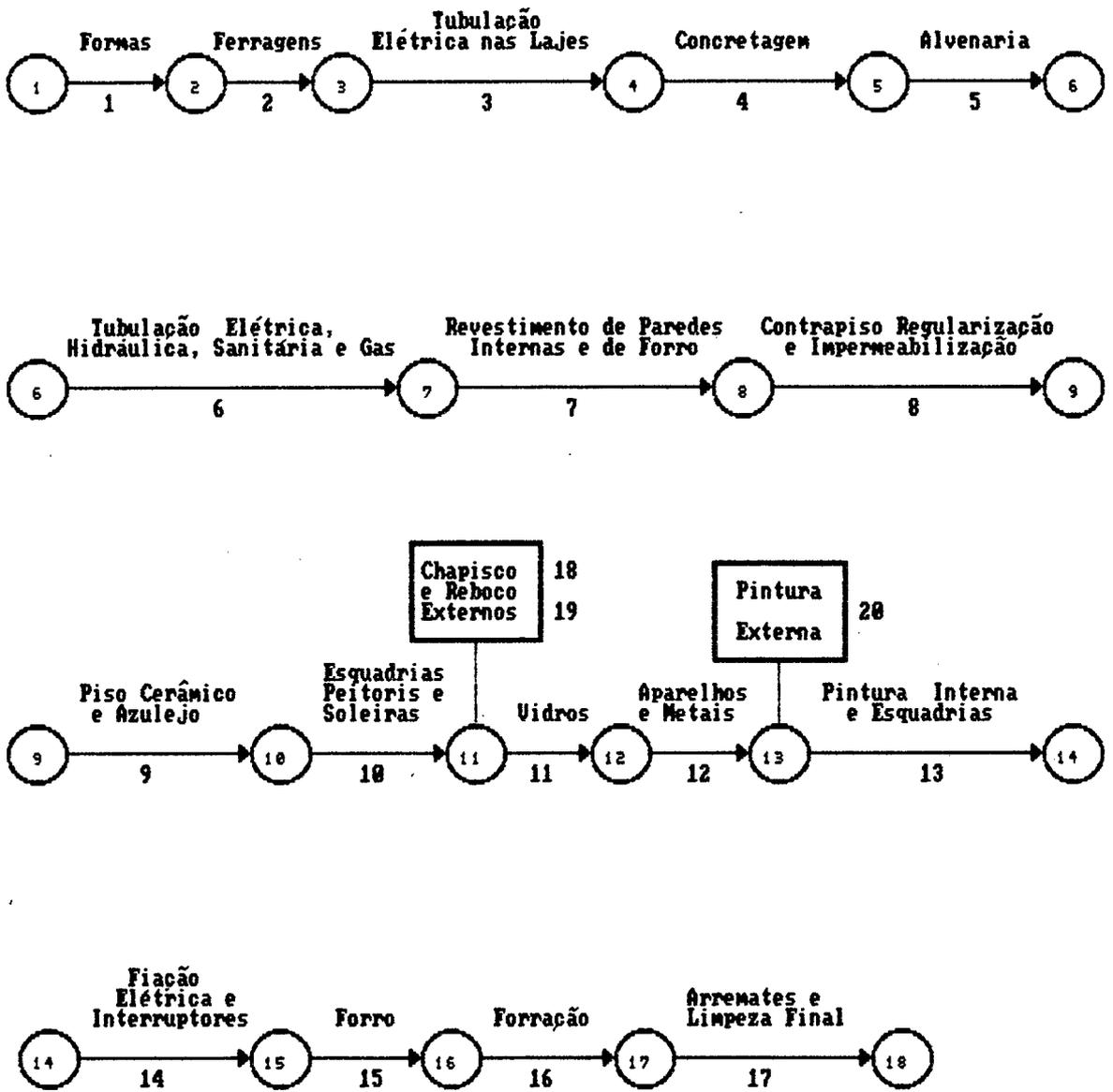


FIGURA 33 Rede com operações agrupadas - estudo de caso 4 - rede 3.

- necessidade de recursos

As medições das operações apresentadas no orçamento e as constantes de mão de obra obtidas da TCPO 8 fornecem a necessidade de mão de obra.

A necessidade de recursos, para as operações, está apresentada nos QUADROS 22 e 23 no Apêndice 1.

- escolha das equipes

As equipes são escolhidas de modo a suprir a necessidade de mão de obra. Dois tipos de equipes são escolhidas, formando equipes de tamanhos pequeno e grande em relação à necessidade de recursos apresentada para cada operação.

As equipes são escolhidas estão apresentadas nos QUADROS 22 e 23 no Apêndice 1.

- duração das operações

Determinadas as equipes calcula-se as durações de cada operação (EQUAÇÃO 5). Estas são arredondadas para valores múltiplos de 0,5 dias, de modo que a troca das equipes seja realizada em períodos de meio dia. As durações estão nos QUADROS 24 e 25 no Apêndice 1.

Com as durações do caminho crítico determina-se a duração da unidade básica (EQUAÇÃO 7).

- ritmo de trabalho

O prazo total da obra, fornecido pela empresa construtora é 18 meses.

A preparação do terreno, instalação do canteiro, fundações e estrutura do nível de garagens são realizados num período de 4 meses. Para a cobertura, instalações mecânicas e alguns serviços complementares, reserva-se um período de 2 meses. Para a execução das unidades básicas resta um período de 12 meses, que representa 261 dias úteis.

Este projeto está dividido em duas partes. A primeira compreende as operações consideradas pesadas e na segunda parte estão as atividades de revestimentos externos, intermediárias e acabamentos.

Na primeira parte, consideração especial deve ser dada às operações que compõem a estrutura.

Quando divide-se o serviço estrutura em operações, ou seja, execução de formas, colocação de ferragens e concretagem, corre-se o risco de ter um programa onde a execução das formas do segundo pavimento deve ser iniciada quando ainda não foi realizada a concretagem do primeiro pavimento. Isto pode ser observado na FIGURA 34.

Pela FIGURA 34, a operação formas deve iniciar no segundo pavimento no dia 6. Porém, a operação formas só pode iniciar no segundo pavimento após ser realizada a concretagem e respeitada a folga para cura do concreto no primeiro pavimento. Desta forma, a equipe responsável pela execução da operação formas esperará desde o dia 7 até o dia 15 para reiniciar suas atividades, atrasando a programação.

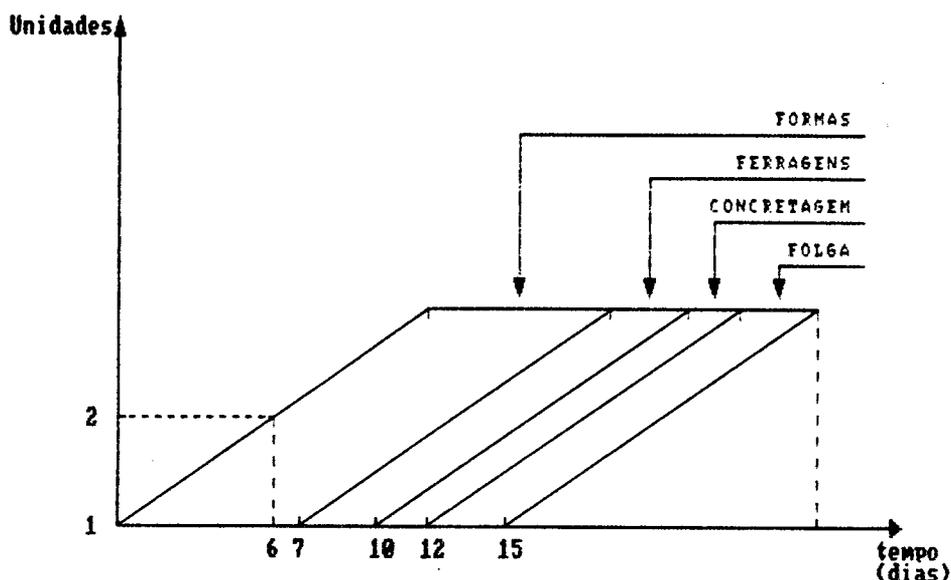


FIGURA 34 Estratégia de ataque do serviço estrutura.

Outra consideração na determinação da duração do serviço estrutura é a quantidade de jogos de formas disponíveis. A operação formas do segundo pavimento pode iniciar após a concretagem do primeiro pavimento. Mas o descimbramento e a desforma é realizado num período médio de 20 dias.

Se a duração de todas as operações que compõem a estrutura é maior do que 20 dias, dois jogos de formas são necessários. Se a duração da estrutura é maior do que 10 dias e menor do que 20 dias, três jogos de formas são necessários.

Colocando-se a duração do serviço estrutura (D), ou seja a duração das operações que compõem a estrutura, na FIGURA 35 e sabendo-se que o serviço estrutura iniciará na unidade 2 após concluída na unidade 1, conclui-se:

- D  $\geq$  20 dias, dois jogo de formas é necessário;
- 20 > D  $\geq$  10 dias, três jogos de formas são necessários;
- 10 > D  $\geq$  7 dias, quatro jogos de formas são necessários;
- 7 > D  $\geq$  5 dias, cinco jogos de formas são necessários;

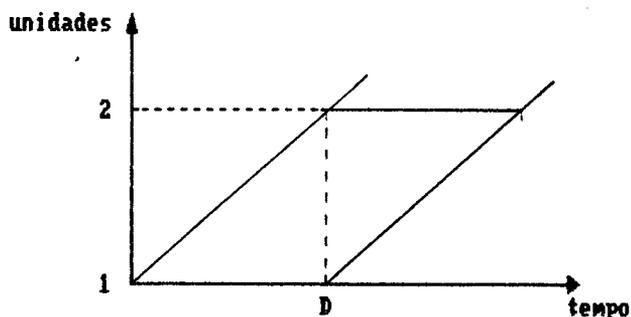


FIGURA 35 Número de jogos de formas necessários.

Na primeira parte, as operações referentes a estrutura, consideradas como uma única operação, devem ser aceleradas de modo a obter um ritmo tal que o fator de multiplicação de recursos seja um, ou seja, uma equipe.

Desta forma, a primeira parte é dividida em duas etapas com ritmos diferentes. Portanto, tem-se três etapas e três ritmos são considerados.

Um esquema desta divisão pode ser analisado pela FIGURA 36, na qual pode-se tirar a equação de duração total.

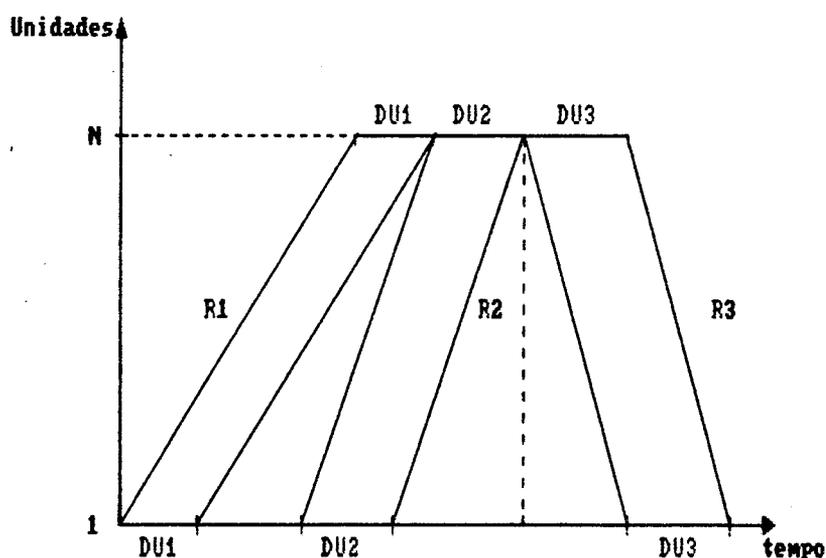


FIGURA 36 Esquema da linha de balanço do estudo de caso 4.

Para que seja mantido um número médio de pessoas na obra, durante toda a fase de construção, a divisão do prazo para a primeira e segunda parte pode ser realizada em função da divisão da necessidade de recursos.

A primeira parte tem a necessidade de 358,82 homens-dias por pavimento, enquanto que na segunda parte, esta necessidade é 161,15 homens-dias. Do prazo, 70% do tempo disponível é destinado para a primeira parte e 30% para a segunda parte.

O prazo disponível para o planejamento é 261 dias, destes, 180 dias são destinados para a primeira etapa e 80 para a segunda etapa.

Para que o serviço estrutura tenha  $FMR = 1$ , tem-se:

$$R_1 = 1 / DU_1 \quad 21$$

$$DT_1 = N * DU_1 \quad 22$$

Da FIGURA 36 tira-se a equação que representa a duração total:

$$DT = DU_1 + (N - 1) / R_1 + DU_2 + DU_3 + (N - 1) / R_3 \quad 23$$

Da FIGURA 36 determina-se a equação que representa o prazo para as primeira e segunda etapas.

$$P_{12} = DT_1 + DU_2 \quad 24$$

substituindo a EQUAÇÃO 22 na EQUAÇÃO 24, obtem - se:

$$DU_1 \leq (P_{12} - DU_2) / N \quad 25$$

onde:

$R_1$  = ritmo da primeira etapa:

$DU_1$  = duração unitária da etapa  $i$ :

$DT_1$  = duração total da etapa  $i$ ;

$N$  = número de unidades:

$DT$  = prazo total da obra;

$P_{12}$  = prazo das etapas 1 e 2;

Para a rede 1:

- Equipe A

Com as equipes para as operações das segunda e terceira etapas, calcula-se as durações das operações (EQUAÇÃO 5). Para as mesmas, determina-se as durações do caminho crítico (EQUAÇÃO 6) e o ritmo com a EQUAÇÃO 7. Tem-se então:

$DU_2 = 60$  dias;

$DU_1 \leq (180 - 60) / 10$

$DU_1 \leq 12$  dias;

Determinam-se equipes para as operações da primeira etapa que resultam em duração unitária menor ou igual a  $DU_1$  calculado.

Calcula-se  $DU_1$ , agora com as equipes determinadas e o  $R_1$  é calculado pela EQUAÇÃO 21.

$DU_1 = 12$  dias;

$R_1 = 1 / 12 = 0,08$  pavimentos/dia;

$DU_2 = 60$  dias;

$R_2 = (10 - 1) / (180 - 12 - 60) = 0,08$  pavimentos/dia;

$DU_3 = 66,6$  dias;

$R_3 = (10 - 1) / (80 - 66,5) = 0,67$  pavimentos/dia;

Com  $DU_1 = 12$  dias, são necessários 3 jogos de formas.

- Equipe B

Para a equipe B resulta:

$DU_1 = 11$  dias;

$R_1 = 0,09$  pavimentos/dia;

$DU_2 = 36$  dias;

$R_2 = 0,07$  pavimentos/dia;

$DU_3 = 47,5$  dias;

$R_3 = 0,28$  pavimentos/dia;

Com  $DU_1 = 11$  dias, são necessários 3 jogos de formas.

Para as redes 2 e 3, procedendo-se da mesma maneira, obtém-se:

Para a rede 2:	$DU_{1A} = 14$ dias	$R_{1A} = 0,07$ pavimentos/dia;
	$DU_{1B} = 15,5$ dias	$R_{1B} = 0,06$ pavimentos/dia;
	$DU_{2A} = 41$ dias	$R_{2A} = 0,07$ pavimentos/dia;
	$DU_{2B} = 24,5$ dias	$R_{2B} = 0,06$ pavimentos/dia;
	$DU_{3A} = 41$ dias	$R_{3A} = 0,23$ pavimentos/dia;
	$DU_{3B} = 40,5$ dias	$R_{3B} = 0,22$ pavimentos/dia;

Para a rede 3:	$DU_{1A} = 14$ dias	$R_{1A} = 0,07$ pavimentos/dia;
	$DU_{1B} = 12$ dias	$R_{1B} = 0,08$ pavimentos/dia;
	$DU_{2A} = 35$ dias	$R_{2A} = 0,07$ pavimentos/dia;
	$DU_{2B} = 26$ dias	$R_{2B} = 0,06$ pavimentos/dia;
	$DU_{3A} = 63$ dias	$R_{3A} = 0,53$ pavimentos/dia;
	$DU_{3B} = 43$ dias	$R_{3B} = 0,24$ pavimentos/dia;

Este desenvolvimento, para a determinação das durações e ritmos, pode ser realizado em função da quantidade de jogos de formas disponíveis.

Considerou-se neste estudo, apenas o prazo da obra, tendo-se como pressuposto que todos os recursos necessários estão disponíveis.

- fator de multiplicação de recursos

Com as durações das operações determina-se o número de equipes necessárias para manter o ritmo e o prazo da obra (EQUAÇÃO 11). Estes resultados estão nos QUADROS 24 e 25 no Apêndice 1.

O número de equipes responsáveis pelo revestimento externo deve ser múltiplo do número de fachadas, pois as operações de revestimento externo são realizadas separadamente por fachadas.

- estratégia de ataque

Como a unidade básica considerada é o pavimento de um edifício único, o ataque à obra é realizado linearmente do primeiro ao último pavimento na primeira etapa e do último ao primeiro pavimento na segunda etapa.

- necessidade total de recursos

A necessidade total de recursos para cada operação é determinada através da EQUAÇÃO 15 e está apresentada nos QUADROS 26, 27 e 28 no Apêndice 1.

A necessidade total de recursos é determinada com a EQUAÇÃO 16 e resulta:

Para a rede 1:  $NTR_A = 9.859,5$  homens-dias;  
 $NTR_B = 12.956,0$  homens-dias;  
 Para a rede 2:  $NTR_A = 9.742,1$  homens-dias;  
 $NTR_B = 13.316,3$  homens-dias;  
 Para a rede 3:  $NTR_A = 9.955,5$  homens-dias;  
 $NTR_B = 12.141,6$  homens-dias;

- quantidade de recursos improdutivos

A quantidade de recursos improdutivos de cada operação é determinada pela EQUAÇÃO 19. Estes resultados estão nos QUADROS 26, 27 e 28 no Apêndice 1.

A quantidade total de recursos improdutivos é:

Para a rede 1:  $NRI_A = 4.273,6$  homens-dias;

$NRI_B = 7.578,0$  homens-dias;

Para a rede 2:  $NRI_A = 4.920,9$  homens-dias;

$NRI_B = 7.743,9$  homens-dias;

Para a rede 3:  $NRI_A = 4.789,2$  homens-dias;

$NRI_B = 5.247,1$  homens-dias;

- traçado do gráfico da linha de balanço

A FIGURA 37 é o Gráfico da Linha de Balanço para o estudo que fornece a menor quantidade de recursos improdutivos para este estudo de caso.

O gráfico é traçado com a rede 1. Esta é a rede linear, com as durações e ritmo obtidos com a escolha da equipe de tamanho pequeno, o que resulta na duração unitária e ritmo grande.

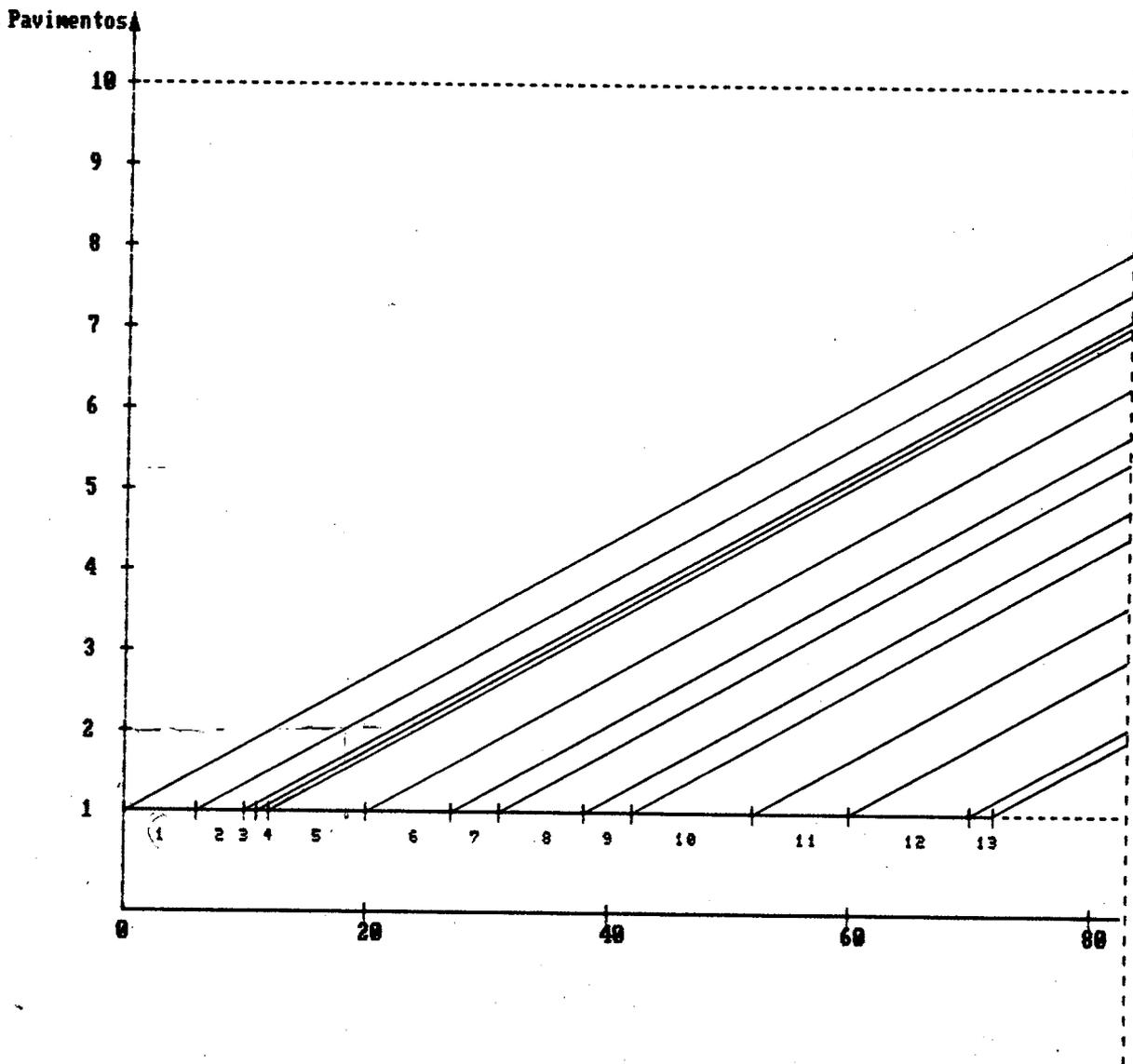
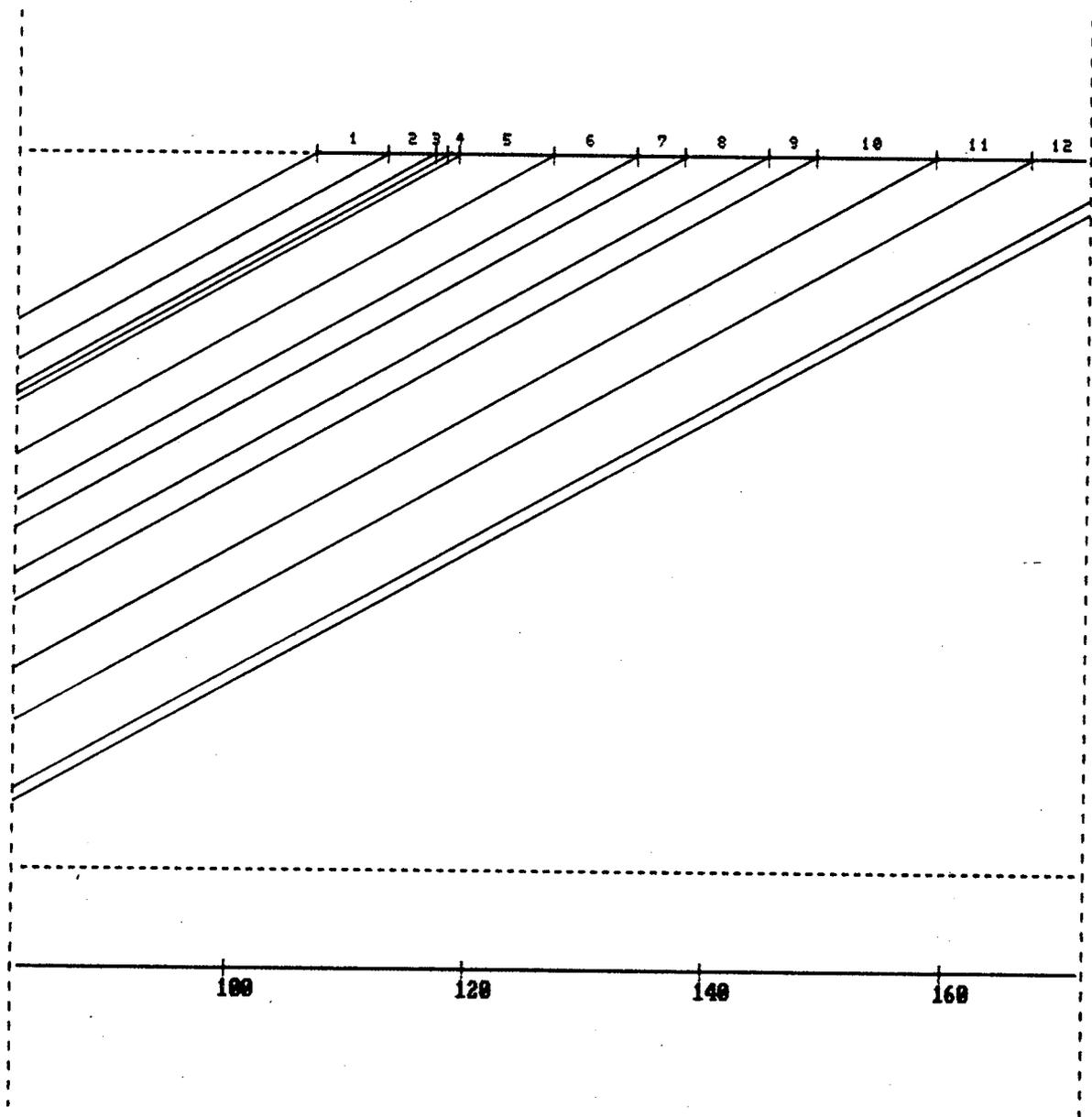
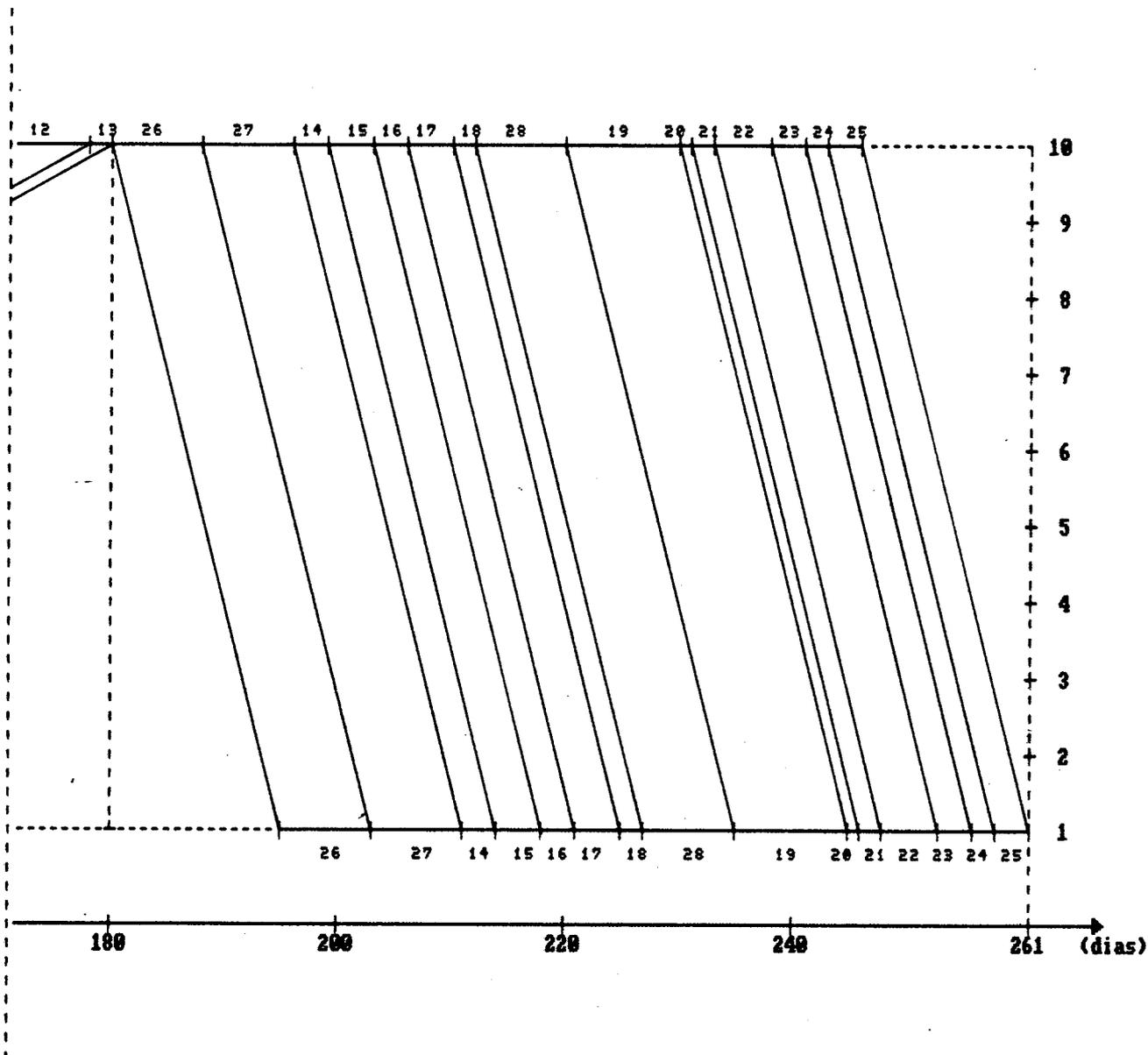


FIGURA 37 Gráfico da linha de balanço para o estudo de caso 4.





## CAPÍTULO 5

### 5.1. RESUMO DAS ANÁLISES EFETUADAS.

Objetivou-se neste trabalho mostrar de forma mais clara o uso do Método da Linha de Balanço. Para isto, uma metodologia de aplicação foi estruturada e analisada em quatro tipos de obras habitacionais repetitivas.

A metodologia foi estruturada a partir da necessidade de tomadas de decisões. Estas decisões definiram as variáveis de estudo.

Desenvolveu-se um formulário, além do apresentado na literatura, visando um tratamento matemático às variáveis.

Comparando-se as possíveis tomadas de decisões através da combinação de diversas variáveis, determinou-se um caminho para a aplicação do Método da Linha de Balanço, o qual resulta na menor quantidade de recursos improdutivos no prazo de tempo contratual.

Considerou-se três tipos de redes lógicas e dois tipos de equipes. A combinação entre as redes e as equipes gerou seis estudos para cada estudo de caso.

### 5.2. CONCLUSÃO

Concluiu-se que a necessidade de recursos produtivos é igual em todas as situações num estudo de caso (com pequenas diferenças devido a arredondamentos). Porém a quantidade de recursos improdutivos cresce quando acrescentamos mais operários na equipe e alteramos a forma da rede lógica.

Em geral, o melhor resultado de planejamento, quanto a redução de recursos ociosos, obteve-se:

- com a escolha da menor equipe, ou seja, equipe com menor número de pessoas. Estas equipes originam maiores durações;

- com a rede que fornece a maior duração unitária, neste caso, a rede linear, onde todas as operações pertencem ao caminho crítico. A maior duração unitária resulta em maior ritmo.

O ritmo calculado é o ritmo mínimo para atender o planejamento. Aumentando-se o ritmo reduz-se o prazo de conclusão da obra e os recursos improdutivos, gerando uma melhor solução.

Esta metodologia é base para uma análise da situação de planejamento no estágio atual da construção civil no Brasil.

### 5.3. CONCLUSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO.

Encontra-se dificuldades para aplicação do Método da Linha de Balanço devido aos seguintes problemas:

- A construção é complexa. Isto é devido a presença de grande variabilidade de materiais e a necessidade de grande quantidade destes materiais e de mão de obra;

- O projeto é complicado. O projeto deve ter detalhes construtivos simples, de modo a não existir intersecções entre as operações. Estas, devem ser concluídas no espaço de tempo a elas destinado;

- Cada tipo de obra repetitiva resulta em diferente gráfico da Linha de Balanço.

#### 5.4. RECOMENDAÇÕES NA UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA.

- A empresa que deseja utilizar o Método da Linha de Balanço deve conhecer o seu atual nível de planejamento, para possíveis comparações;

- A empresa que planeja deveria ser a mesma que projeta e realiza a construção. Isto facilita a compatibilidade do projeto com a metodologia utilizada;

- O projeto deve ser fácil de construir, ou seja, com detalhes simples;

- Após definidas, as operações devem ser analisadas individualmente, de modo a encontrar a melhor solução construtiva;

#### 5.5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

- Prosseguimento deste estudo com pesquisas da influência de outras variáveis na aplicação do método. Como exemplos, a influência do tamanho da unidade básica, sequenciamento de ataque à obra e número de equipes;

- Análise do caso não determinístico, ou seja, com equipes e durações probabilísticas;

- Estudo com variáveis econômicas, analisando-se a relação entre custos diretos e indiretos de produção;

- Estudo baseado na disponibilidade de equipamentos e materiais;

- Análise da influência da especialização da mão de obra;

- Análise da influência da agregação das operações;

\* - Proposição desta metodologia em um empreendimento e acompanhamento do seu desempenho para um estudo real das dificuldades de aplicação;

- Comparação da necessidade de recursos entre um planejamento realizado com a programação paralela e a programação de recursos;

- Otimização desta metodologia e a comparação com os processos otimizadores existentes na bibliografia;

- Realização de outros tipos de estudo de casos para formação de um acervo didático.

## BIBLIOGRAFIA

[ARDITI 83]

ARDITI, D.: "*Diffusion of Network Planning in Construction.*"  
Journal of Construction Engineering and Management, ASCE.  
109(1): 1-121, Mar. 1983.

[ARDITI 86]

ARDITI, D. & ALBULAK, M.Z.: "*Line of Balance Scheduling in Pavement Construction.*" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. 112(3): 411-425, Sep 1986.

[ASHLEY 80]

ASHLEY, D.B.: "*Simulation of Repetitive - Unit Construction.*"  
Journal of Construction Division, ASCE. 106(co2): 185-194, Jun  
1980.

[BIRREL 80]

BIRREL, G.S.: "*Construction Planning - Beyond the Critical Path.*"  
Journal of Construction Division, ASCE. 106(co3): 389-407, Sep  
1980.

[CARR 74]

CARR, R.I. & MEYER, W.L.: "*Planning Construction of Repetitive Building Units.*" Journal of Construction Division, ASCE.  
100(co3): 403-413, Sep 1974.

[CHRZANOWSKI 86]

CHRZANOWSKI, E.N. & JOHNSTON, D.W.: "*Application of Linear Scheduling.*" *Journal of Construction Engineering and Management.* ASCE. 112(4) 476-491. Dec. 1986.

[CLAURE 86]

CLAURE, J.E.Z.: "*Otimização de Projetos Lineares em Construção Civil Através do Método Espaço-Tempo.*" *Dissertação de Mestrado.* UFSC. Florianópolis 1986.

[COLE 77]

COLE, L.J.R.: "*Applied Flow Line Technology.*" *The Building Economist*, 15(4): 218-224. Mar 1977.

[DRESSLER 74]

DRESSLER, J.: "*Stochastic Scheduling of Linear Construction Sites.*" *Journal of Construction Division*, ASCE. 100(co4): 571-587. Dec. 1974.

[DUFF 87]

DUFF, A.R.: "*Interference in Stochastic Flow-Line Models.*" *Journal of Construction Engineering and Management.* ASCE. 113(3) 385-398. Sep. 1987.

[FASSIN 81]

FASSIN, J.: "*La Planification des Travaux Repetitifs.*" *C.S.T.C. Revue Num. 2: 2-12* , Juin 1981.

[FORBES 71]

FORBES, W.S.: "*Flow Charts to Control Progress on Housing Sites.*"  
Building Research Station Digest. 134. Oct 1971.

[GATES 78]

GATES, M. & SCARPA, A.: "*Optimum Number of Crews.*" Journal of  
Construction Division, ASCE. 104(co2): 123-132, Jun. 1978.

[HANDA 86]

HANDA, V.K. & BARCIA R.M.: "*Linear Scheduling Using Optimal  
Control Theory.*" Journal of Construction Engineering, ASCE.  
112 (3) 387-398, Sept-86.

[HARELI 78]

HARELI, M.: "*Optimizing the Execution Sequence in Construction  
Projects with Repetitive Processes.*" In: Symposium of CIB W-65  
on Organization and Management of Construction. 2, Haifa, Oct  
1978. Proceedings... Israel, Ministry of Construction and  
Housing, 1978. V. 2, p.II 217 - II 230.

[HARRIS 77]

HARRIS, F.C. & EVANS, J.B.: "*Road Construction - Simulation Game  
for Site Managers.*" Journal of Construction Division, ASCE.  
103(co3): 405-414, Sep 1977.

[JOHNSTON 81]

JOHNSTON, D.W.: "*Linear Scheduling Method for Highway  
Construction.*" Journal of Construction Division, ASCE.  
107(co2): 247-261, Jun. 1981.

[KAVANAGH 85]

KAVANAGH, D.P.: "*A Repetitive Construction Simulation Model.*"  
Journal Construction Engineering and Management, ASCE. 111(3):  
308-323, Sep. 1985.

[LUMSDEN 68]

LUMSDEN, P.: "*The Line of Balance Method.*" Oxford, Pergamon  
Press, 1968.

[MACEDO 81]

MACEDO, M.L.: "*A Aplicação do Método da Linha de Balanço na  
Coordenação da Execução de Canteiros de Habitações  
Unifamiliares.*" In: Simpósio Latino-Americano sobre  
Racionalização da Construção. São Paulo, Out 1981, p. 777-786.

[MADERS 87]

MADERS, B.: "*Técnica de Programação e Controle da Construção  
Repetitiva - Linha de Balanço. Estudo de Caso de Um Conjunto  
Habitacional.*" Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre  
1987.

[O'BRIEN 75]

O'BRIEN, J.J.: "*VPM Scheduling for High-Rise Buildings.*" Journal  
of Construction Division, ASCE. 101(co4): 895- 905. Dec. 1975

[PEER 74]

PEER, S.: "*Network Analysis and Construction Planning.*" Journal  
of Construction Division, ASCE. 100(co3): 203-210. Sep. 1974.

[PERERA 83]

PERERA, S.: "*Resource Sharing in Linear Construction.*" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. 190 (1) 102-111, Mar-83.

[ROESCH]

ROESCH, W.: "*Network Planning and Velocity - Diagrams in Housing Construction Industry.*" Roesch Consulting, Lintorf Dusseldorf/BRD.

[RUSSEL 88]

RUSSEL, A.D. & CASELTON, W.F.: "*Extensions to Linear Scheduling Optimization.*" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. 114 (1) 36-51 mar-88.

[SCOMAZZON 85]

SCOMAZZON, B., SOIBELMAN, L. & SILVA, N.: "*Planejamento, Programação e Controle de Obras Repetitivas. Técnica da Linha de Balanço - Estudo de Caso.*" Caderno de Engenharia - 13. UFRGS Porto Alegre. Dez. 1985.

[SELINGER 80]

SELINGER, S.: "*Construction Planning For Linear Projects.*" Journal of Construction Division, ASCE. 106(co2): 195- 205, Jun. 1980.

[STRADAL 82]

STRADAL, O. & CACHA, J.: "*Time Space Scheduling Method.*" Journal of Construction Division, ASCE. 108(co3): 445- 457, Sep. 1982.

[TRIMBLE 84]

TRIMBLE, G.: "*Resource - Oriented Scheduling.*" International Journal of Management, London, 2(2): 70-74, May 1984.

[YSSAO]

YSSAO, K.: "*Método de Programação e Controle para Construção de Casas em Série.*"

**APENDICE**

A seguir são apresentados diversos quadros citados no capítulo 4. Nestes quadros:

- "A" e "B" representam os estudos a partir das equipes grandes (A) e pequenas (B);

- "a" representa o arredondamento na EQUAÇÃO 11;

- "\*" durações das operações não pertencentes ao caminho crítico da rede 2.

QUADRO 8 Dados para as redes 1 e 2 do estudo de caso 2.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Formas	61,98	10	10
2. Ferragens	21,96	10	10
3. Concretagem	22,25	10	10
4. Laje Pre-Moldada	13,41	10	10
5. Alvenaria	63,56	5	10
6. Tubulação Hidráulica	6,23	1	5
7. Tubulação Sanitária	9,33	1	5
8. Tubulação de Gás	1,00	1	1
9. Tubulação Elétrica	13,67	1	5
10. Chapisco Interno	55,62	5	10
11. Reboco Interno	64,14	5	10
12. Contrapiso	25,70	3	8
13. Impermeabilização	3,87	1	4
14. Azulejo	6,88	1	5
15. Piso Cerâmico	2,04	1	2
16. Esquadrias	24,43	3	7
17. Peitoris e Soleiras	2,25	1	3
18. Forro	6,20	1	5
19. Aparelhos	6,38	1	5
20. Vidros	2,58	1	3
21. Fiação Elétrica	17,00	1	5
22. Pintura Interna	19,32	1	5
23. Forração	2,53	1	3
24. Tomadas e Interruptores	12,19	1	5
25. Metais	1,91	1	2
26. Arremates	1,00	1	1
27. Limpeza	24,50	3	8
28. Chapisco Externo	17,56	1	5
29. Reboco Externo	21,95	3	8
30. Pintura Externa	17,56	1	5
	627,27		

QUADRO 9 Dados para a rede 3 do estudo de caso 2.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Formas	61,98	12	12
2. Ferragens	21,96	4	8
3. Concretagem	22,25	12	12
4. Laje Pré-Moldada	13,41	6	6
5. Alvenaria	63,46	4	10
6. Tubulação Elétrica, Gás, Hidráulica e Sanitária	30,23	2	8
7. Chapisco e Reboco Interno	119,76	4	12
8. Contrapiso e Impermeabil.	29,57	2	8
9. Azulejo e Piso Cerâmico	8,92	1	5
10. Esquadrias Peitoris e Soleiras	26,68	2	8
11. Forro	6,20	1	5
12. Aparelhos e Metais	8,29	1	5
13. Fiação elétrica, Tomadas e Interruptores	29,19	2	8
14. Vidros	2,58	1	4
15. Pintura Interna	19,32	1	6
16. Forração	2,53	1	4
17. Complementares	1,00	1	2
18. Limpeza Final	24,50	2	8
19. Chapisco, Reboco Externo	39,51	2	10
20. Pintura Externa	17,56	1	6
	627,27		



QUADRO 11 Resultados do estudo da rede 3 no estudo de caso 2.

O p e r.	Duração (dias)		FMR (rede 3)			
	A	B	A	a	B	a
1	5,5	5,5	3	0,41	1	0,28
2	5,5	3,0	3	0,41	1	0,61
3	2,0	2,0	1	0,06	1	0,74
4	2,5	2,5	2	0,82	1	0,67
5	16,0	6,5	8	0,48	1	0,15
6	15,5	4,0	8	0,71	1	0,48
7	30,0	10,0	15	0,90	2	0,70
8	15,0	4,0	8	0,95	1	0,48
9	9,0	2,0	5	0,77	1	0,74
10	13,5	3,5	7	0,65	1	0,54
11	6,5	1,5	4	0,94	1	0,80
12	8,5	2,0	4	0,00	1	0,74
13	15,0	4,0	8	0,95	1	0,48
14	3,0	1,0	2	0,59	1	0,87
15	19,5	3,5	10	0,83	1	0,54
16	3,0	1,0	2	0,59	1	0,87
17	1,0	0,5	1	0,53	1	0,93
18	12,5	3,5	6	0,12	1	0,54
19	20,0	4,0	10	0,60	1	0,48
20	18,0	3,0	9	0,54	1	0,61
	221,5	66,0				

QUADRO 12 Resultados do estudo da rede 1 do estudo de caso 2.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	2248,1	1998,3	296,15	38,67
2	911,5	1958,3	159,38	1198,67
3	911,5	1958,3	159,38	1198,67
4	461,2	1948,3	8,92	1488,67
5	2038,8	1998,3	88,85	38,67
6	224,8	974,2	29,62	744,33
7	314,2	976,7	29,02	676,67
8	45,6	194,3	15,62	164,33
9	447,7	981,7	27,69	531,67
10	1813,8	1993,3	88,00	193,33
11	2038,8	1998,3	88,85	33,67
12	826,6	1574,7	16,62	726,93
13	136,6	777,3	16,62	657,33
14	227,3	974,2	17,31	744,33
15	91,2	389,7	15,94	297,73
16	817,6	1377,8	52,06	637,07
17	91,2	583,0	15,94	493,00
18	224,8	974,2	28,11	599,33
19	224,8	974,2	29,62	744,33
20	92,2	583,0	0,00	386,67
21	536,3	984,2	29,62	744,33
22	600,0	986,7	26,31	154,33
23	92,2	583,0	2,15	493,00
24	403,3	979,2	2,15	493,00
25	90,2	388,7	30,15	328,67
26	45,6	194,3	15,62	164,33
27	817,6	1574,7	52,06	726,93
28	548,3	986,7	8,31	386,67
29	689,4	1570,7	13,85	850,67
30	548,3	986,7	8,31	386,67
Total	18.559,5	34.423,0	1.069,28	16.626,67

QUADRO 13 Resultados do estudo da rede 2 no estudo de caso 2.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	2509,3	2136,4	555,43	186,43
2	853,6	2091,4	99,43	1346,43
3	853,6	2091,4	99,43	1346,43
4	843,6	2086,4	389,43	1636,43
5	2110,7	2136,4	160,71	186,43
6	250,9	1043,2	55,54	818,21
7	335,1	1045,7	57,20	745,71
8	83,9	208,1	53,86	178,14
9	427,1	1050,7	7,14	600,71
10	2073,2	2131,4	346,43	331,43
11	2110,7	2136,4	160,71	186,43
12	999,4	1685,1	189,43	845,14
13	168,0	832,6	48,00	712,57
15	85,4	417,3	9,94	327,29
14	252,4	1043,2	42,43	818,21
16	770,8	1474,5	4,63	739,50
17	85,4	624,4	9,94	534,43
18	250,9	1043,2	44,29	673,21
19	250,9	1043,2	55,54	818,21
20	166,0	624,4	0,00	455,71
21	513,4	1053,2	55,54	818,21
22	600,0	1055,7	3,43	528,21
23	166,0	624,4	76,00	534,43
24	419,6	1048,2	76,00	534,43
25	84,9	416,3	24,86	356,29
26	83,9	208,1	53,86	178,14
27	770,8	1685,1	4,63	845,14
28	586,0	1555,7	46,00	455,71
29	761,8	1681,1	72,94	961,14
30	586,0	1555,7	46,00	455,71
total	20.063,3	37.828,9	2.848,80	19.154,46

QUADRO 14 Resultados do estudo da rede 3 do estudo de caso 2.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	2266,1	2742,9	282,64	749,54
2	755,4	1808,6	94,21	1088,62
3	764,4	2700,9	44,43	1980,92
4	744,9	1353,5	293,11	896,77
5	2009,9	2295,8	89,87	334,62
6	996,9	1816,6	66,47	856,62
7	3714,9	2796,9	114,89	1809,23
8	988,9	1816,6	88,94	856,62
9	311,0	1125,4	40,96	825,38
10	874,1	1812,6	63,62	963,69
11	247,3	1122,9	52,00	892,31
12	255,3	1125,4	0,00	825,38
13	988,9	1816,6	88,94	856,62
14	125,1	896,3	56,60	776,31
15	620,5	1359,5	35,32	722,77
16	125,1	896,3	35,15	776,31
17	62,7	447,2	32,70	414,92
18	762,8	1812,6	12,26	963,69
19	1251,1	2270,8	51,06	1070,77
20	564,1	1356,5	24,13	816,46
Total	18.429,4	33.373,9	1.567,30	18.477,55

QUADRO 15 Dados para as redes 1 e 2 do estudo de caso 3.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Alvenaria	143,17	10	14
2. Vigotas e Tavelas	44,49	5	7
3. Formas e Ferragens	16,30	3	5
4. Tubulação Elétrica	12,00	3	5
5. Concretagem	10,50	5	11
6. Tubulação Sanitária	7,60	2	4
7. Tubulação Hidráulica	4,60	2	3
8. Chapisco Interno	41,14	2	7
9. Reboco Interno	57,90	3	7
10. Contrapiso	5,22	1	3
11. Impermeabilização	0,50	1	1
12. Azulejo	8,35	1	4
13. Piso Cerâmico, Granilite	5,56	1	3
14. Esquadrias	22,74	2	5
15. Rodapé, Soleira, Peitoril	1,82	1	3
16. Vidros	1,56	1	3
17. Fiação Elétrica	15,13	2	4
18. Aparelhos e Metais	1,17	1	3
19. Pintura Interna	44,52	2	6
20. Pintura das Esquadrias	9,39	1	3
21. Forro	0,98	1	2
22. Tomadas e Interruptores	6,77	1	3
23. Forração	1,74	1	3
24. Complementares	0,50	1	1
25. Limpeza Final	0,98	1	2
26. Chapisco Externo	14,42	2	5
27. Reboco Externo	18,95	2	6
28. Pintura Externa	14,42	2	5
	512,42		

QUADRO 16 Dados para a rede 3 do estudo de caso 3.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Alvenaria	143,17	10	14
2. Vigotas e Tavelas	44,49	5	7
3. Formas e Ferragens	16,13	3	5
4. Tubulação Elétrica	12,00	3	5
5. Concretagem	10,50	5	11
6. Tubulação Hidráulica e Sanitária	12,20	2	4
7. Chapisco e Reboco Interno	99,04	5	8
8. Azulejo	8,35	1	3
9. Contrapiso, Impermeabil, Piso Cerâmico e Granilite	11,28	2	4
10. Esquadrias, Rodapés, Soleiras e Peitoris	24,56	2	5
11. Pintura Interna e Esqua- drias	53,91	3	7
12. Vidros	1,56	1	3
13. Fiação elétrica, Tomadas e Interruptores	21,90	2	4
14. Aparelhos e Metais	1,17	1	3
15. Forro	0,98	1	2
16. Forração	1,74	1	3
17. Complementares	0,50	1	1
18. Limpeza	0,98	1	2
19. Chapisco Externo	14,42	1	3
20. Reboco Externo	19,85	2	4
21. Pintura Externa	14,42	1	3
	512,42		

QUADRO 17 Resultados do estudo das redes 1 e 2 do estudo de caso 3.

O p e r.	Duração (dias)		FMR (rede 1)				FMR (rede 2)			
	A	B	A	a	B	a	A	a	B	a
1	14,5	10,5	20	0,42	10	0,76	17	0,76	9	0,18
2	9,0	6,5	13	0,85	6	0,28	11	0,92	6	0,54
3	5,5	3,5	8	0,57	4	0,92	7	0,84	3	0,06
4	* 4,0	* 2,5	6	0,60	3	0,80	5	0,52	3	0,90
5	2,5	1,0	4	0,62	1	0,12	3	0,20	1	0,16
6	4,0	2,0	6	0,60	2	0,24	5	0,52	2	0,32
7	* 2,5	* 2,0	4	0,62	2	0,24	3	0,20	2	0,32
8	21,0	6,0	29	0,65	6	0,72	24	0,48	6	0,96
9	19,5	8,5	27	0,67	8	0,52	22	0,16	8	0,86
10	5,5	2,0	8	0,57	2	0,24	7	0,84	2	0,32
11	0,5	0,5	1	0,32	1	0,56	1	0,44	1	0,58
12	8,5	2,5	12	0,52	1	0,80	10	0,48	3	0,90
13	6,0	2,0	9	0,90	2	0,24	7	0,28	2	0,32
14	11,5	5,0	16	0,47	3	0,60	13	0,12	5	0,80
15	2,0	1,0	3	0,30	5	0,12	3	0,76	1	0,16
16	* 2,0	* 1,0	3	0,30	1	0,12	3	0,76	1	0,16
17	* 8,0	* 4,0	11	0,20	1	0,48	9	0,04	4	0,64
18	* 1,5	* 0,5	3	0,97	4	0,56	2	0,32	1	0,58
19	22,5	7,5	31	0,62	1	0,40	26	0,80	7	0,70
20	* 9,5	* 3,5	13	0,17	7	0,92	11	0,36	3	0,06
21	1,0	0,5	2	0,65	4	0,56	2	0,88	1	0,58
22	7,0	2,5	10	0,55	1	0,80	8	0,16	3	0,90
23	2,0	1,0	3	0,30	3	0,12	3	0,76	1	0,16
24	0,5	0,5	1	0,32	1	0,56	1	0,44	1	0,58
25	1,0	0,0	2	0,65	1	0,56	2	0,88	1	0,58
26	7,5	3,0	11	0,87	3	0,36	9	0,60	3	0,48
27	9,5	3,5	3	0,17	4	0,92	11	0,36	3	0,06
28	7,5	3,0	11	0,87	3	0,36	9	0,60	3	0,48
	196,00	86,50	duração unitária da rede 1							
	168,50	73,00	duração unitária da rede 2							

QUADRO 18 Resultados do estudo da rede 3 no estudo de caso 3.

O p e.	Duração (dias)		FMR (rede 3)			
	A	B	A	a	B	a
1	14,5	10,5	17	0,03	10	0,86
2	9,0	6,5	11	0,47	6	0,34
3	5,5	3,5	7	0,56	4	0,95
4	4,0	2,5	5	0,32	3	0,82
5	2,5	1,0	3	0,07	1	0,13
6	6,5	3,5	8	0,39	4	0,95
7	20,0	12,5	24	0,60	11	0,12
8	8,5	3,0	10	0,05	3	0,39
9	6,0	3,0	8	0,98	3	0,39
10	12,5	5,0	15	0,37	5	0,65
11	18,0	8,0	22	0,94	7	0,04
12	2,0	1,0	3	0,66	1	0,13
13	11,0	5,5	13	0,13	5	0,21
14	1,5	0,5	2	0,24	1	0,56
15	1,0	0,5	2	0,83	1	0,56
16	2,0	1,0	3	0,66	1	0,13
17	0,5	0,5	1	0,41	1	0,56
18	1,0	0,5	2	0,83	1	0,56
19	14,5	5,0	17	0,03	5	0,65
20	10,0	5,0	12	0,30	5	0,65
21	14,5	5,0	17	0,03	5	0,65
	165,0	83,5				

QUADRO 19 Resultados do estudo da rede 1 do estudo de caso 3.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	40825,9	43788,2	796,44	3216,18
2	4896,4	6251,8	827,47	601,36
3	13247,9	13159,4	339,47	1421,82
4	3672,0	4690,9	360,00	1240,91
5	2448,0	2506,9	642,59	37,50
6	1631,8	1880,2	240,00	298,91
7	4079,6	3448,5	249,89	224,18
8	11829,8	13138,4	237,85	1546,36
9	16519,5	17530,5	370,73	1108,55
10	1632,1	1880,2	113,16	224,18
11	204,2	313,0	65,19	175,00
12	2448,7	3752,7	101,69	992,73
13	1834,0	1880,2	178,00	224,18
14	6530,9	7823,9	181,04	923,86
15	612,7	940,5	60,67	112,50
16	612,7	940,5	60,67	112,50
17	4494,5	5009,5	78,52	593,45
18	611,2	939,0	196,16	496,88
19	12646,8	13153,6	225,04	733,64
20	2656,1	3751,1	33,12	853,09
21	407,9	626,0	131,93	350,00
22	2040,4	2814,5	108,37	744,55
23	612,7	940,5	61,11	112,50
24	204,2	313,0	65,19	175,00
25	407,9	626,0	131,93	350,00
26	4483,5	4698,4	341,56	558,41
27	5312,2	7502,2	66,24	1706,18
28	4483,5	4698,4	341,56	558,41
Total	153.321,8	172.084,0	5.289,20	19.692,83

QUADRO 20 Resultados do estudo da rede 2 no estudo de caso 3.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	39465,0	41373,0	1757,50	801,00
2	4862,6	4927,5	1088,39	1215,00
3	12742,9	13773,0	605,25	97,50
4	3476,0	4912,5	377,46	1462,50
5	2317,3	2625,5	243,75	52,38
6	1391,5	1969,1	251,64	417,52
7	3478,7	3612,2	97,50	313,14
8	11172,7	13752,0	216,00	2160,00
9	15374,4	18342,7	108,86	1920,67
10	1620,9	1969,1	201,75	313,14
11	231,6	327,9	108,04	189,88
12	3085,3	3930,0	114,00	1170,00
13	1624,4	1969,1	67,25	313,14
14	6045,2	8190,5	58,50	1290,48
15	694,2	985,1	185,25	157,14
16	694,2	985,1	185,25	157,14
17	4182,7	5245,0	19,07	828,95
18	463,5	983,6	78,29	569,64
19	12094,4	13765,0	357,14	1345,00
20	2554,1	2956,5	85,18	58,50
21	462,5	655,8	215,29	379,76
22	1857,7	2947,5	38,29	877,50
23	694,2	985,1	185,25	157,14
24	231,6	327,9	108,04	189,88
25	462,5	655,8	215,29	379,76
26	4173,7	4920,0	286,07	780,00
27	5108,2	5913,0	170,36	117,00
28	4173,7	4920,0	286,07	780,00
total	147.841,3	173.094,3	7.710,73	18.493,76

QUADRO 21 Resultados do estudo da rede 3 do estudo de caso 3.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	40097,5	44274,6	66,41	3681,20
2	4943,7	6322,9	532,26	738,62
3	12952,3	13307,5	386,26	1485,06
4	3534,4	4744,4	222,36	1286,55
5	3537,5	3488,0	81,67	452,01
6	3769,0	5058,3	178,67	1188,05
7	28246,2	27904,6	646,15	298,41
8	2353,5	2851,1	11,37	367,14
9	3761,0	3801,5	448,96	489,52
10	6767,3	7912,4	165,08	1012,36
11	15516,2	15542,6	56,21	531,03
12	6130,4	6339,9	612,21	86,57
13	706,0	951,3	154,00	123,28
14	471,4	949,8	58,44	261,66
15	470,4	633,2	194,38	354,02
16	706,0	951,3	154,00	123,28
17	235,5	316,6	96,37	177,01
18	470,4	633,2	194,38	354,02
19	4009,7	4927,4	6,64	607,41
20	5655,4	6329,9	13,54	809,89
21	4009,7	4927,4	6,64	607,41
Total	148.343,5	162.167,9	4.286,00	15.034,50

QUADRO 22 Dados para as redes 1 e 2 do estudo de caso 4.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Formas e Escoras	100,00	16	17
2. Ferragens	34,09	10	12
3. Tubulação Elétrica (laje)	6,78	7	8
4. Concretagem	7,97	8	10
5. Alvenaria	82,67	10	14
6. Tubulação Elétrica	6,78	1	2
7. Tubulação Hidráulica	10,30	3	4
8. Tubulação Sanitária	6,64	1	2
9. Tubulação Gás	3,60	1	2
10. Revestimento Paredes Internas	45,99	5	8
11. Revestimento do Forro	24,34	3	5
12. Contrapiso	27,41	3	5
13. Impermeabilização	2,25	1	2
14. Azulejo	4,27	1	2
15. Piso Cerâmico	7,09	2	3
16. Esquadrias	6,54	2	3
17. Vidros	1,41	1	2
18. Aparelhos e Metais	6,24	2	3
19. Peitoris e Soleiras	2,00	1	2
20. Pintura Interna	42,35	4	5
21. Pintura das Esquadrias	0,44	1	1
22. Fiação Elétrica e Interruptores	10,16	2	3
23. Forro	6,73	2	3
24. Forração	1,37	1	2
25. Complementos e Limpeza	3,00	1	2
26. Chapisco Externo	22,40	3	4
27. Reboco Externo	24,75	3	4
28. Pintura Externa	22,40	3	4
	520,00		

QUADRO 23 Dados para a rede 3 do estudo de caso 4.

Operações	Necessidade de recursos (hd/pav)	Equipes	
		A	B
1. Formas e Escoras	61,98	14	16
2. Ferragens	21,96	8	10
3. Tubulação Elétrica	22,25	7	8
4. Concretagem	13,41	8	8
5. Alvenaria	63,46	10	12
6. Tubulação Elétrica, Gás, Hidráulica e Sanitária	30,23	4	6
7. Chapisco e Reboco Interno	119,76	6	8
8. Contrapiso, Regularização e impermeabilização	29,57	4	6
9. Azulejo e Piso Cerâmico	8,92	2	4
10. Esquadrias Peitoris e Soleiras	26,68	2	3
11. Vidros	2,58	1	2
12. Aparelhos e Metais	8,29	2	3
13. Pintura Interna e Esqua- drias	19,32	4	6
14. Fiação elétrica, Tomadas e Interruptores	29,19	2	4
15. Forro	2,53	2	3
16. Forração		1	2
17. Complementares e Limpeza	1,00	1	2
18. Chapisco Externo	39,51	3	4
19. Reboco Externo		3	4
20. Pintura Externa	17,56	3	4
	520,00		

QUADRO 24 Resultados do estudo das redes 1 e 2 do estudo de caso 4.

O P e r.	Duração (dias)		FMR (rede 1)				FMR (rede 2)			
	A	B	A	a	B	a	A	a	B	a
1	6,5	6,0	1	0,5	1	0,5	1	0,4	1	0,5
2	3,5	3,0	1	0,7	1	0,7	1	0,7	1	0,7
3	* 1,0	* 1,0	1	0,7	1	0,9	1	0,8	1	0,8
4	1,0	1,0	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9
5	8,5	6,0	1	0,3	1	0,6	1	0,4	1	0,6
6	7,0	3,5	1	0,4	1	0,8	1	0,5	1	0,8
7	* 3,5	* 3,0	1	0,7	1	0,8	1	0,8	1	0,8
8	* 7,0	* 3,5	1	0,6	1	0,8	1	0,5	1	0,8
9	4,0	2,0	1	0,7	1	0,9	1	0,7	1	0,9
10	9,5	6,0	1	0,2	1	0,6	1	0,3	1	0,6
11	8,5	5,0	1	0,3	1	0,6	1	0,4	1	0,7
12	9,5	5,5	1	0,2	1	0,6	1	0,3	1	0,7
13	2,5	1,5	1	0,8	1	0,9	1	0,8	1	0,9
14	4,5	2,5	3	0,0	1	0,3	2	0,3	1	0,4
15	3,5	2,5	3	0,7	1	0,3	2	0,7	1	0,4
16	3,5	2,5	3	0,7	1	0,3	2	0,7	1	0,4
17	* 1,5	* 1,0	1	0,0	1	0,7	1	0,4	1	0,8
18	* 3,5	* 2,0	3	0,7	1	0,4	3	0,7	1	0,5
19	* 2,0	* 1,0	2	0,7	1	0,7	1	0,3	1	0,8
20	10,5	8,5	7	0,0	3	0,6	4	0,1	2	0,0
21	* 0,0	* 0,5	1	0,7	1	0,9	1	0,8	1	0,9
22	5,5	3,5	4	0,3	1	0,0	2	0,0	1	0,2
23	* 3,5	* 2,5	3	0,6	1	0,3	2	0,7	1	0,4
24	1,5	1,0	1	0,0	1	0,7	1	0,4	1	0,8
25	3,0	1,5	2	0,0	1	0,6	2	0,9	1	0,7
26	7,5	6,0	5	0,0	2	0,3	3	0,2	2	0,6
27	8,5	6,5	6	0,3	2	0,2	4	0,9	2	0,5
28	7,5	6,0	5	0,0	2	0,3	3	0,2	2	0,6

QUADRO 25 Resultados do estudo da rede 3 no estudo de caso 4.

O p e.	Duração (dias)		FMR (rede 3)			
	A	B	A	a	B	a
1	7,5	6,5	1	0,5	1	0,5
2	4,5	3,5	1	0,7	1	0,8
3	1,0	1,0	1	0,9	1	0,9
4	1,0	1,0	1	0,9	1	0,9
5	8,5	7,0	1	0,4	1	0,6
6	7,0	5,0	1	0,5	1	0,8
7	12,0	9,0	1	0,2	1	0,5
8	7,5	5,0	1	0,5	1	0,7
9	6,0	3,0	4	0,8	1	0,3
10	4,5	3,0	3	0,6	1	0,3
11	1,5	1,0	1	0,2	1	0,8
12	3,5	2,5	2	0,1	1	0,4
13	11,0	7,5	6	0,2	2	0,2
14	5,0	2,5	3	0,3	1	0,4
15	3,5	2,5	2	0,1	1	0,4
16	1,5	1,0	1	0,2	1	0,8
17	3,0	1,5	2	0,4	1	0,6
18	7,5	6,0	4	0,0	2	0,6
19	8,5	6,5	5	0,5	2	0,4
20	7,5	6,0	4	0,0	2	0,6

QUADRO 26 Resultados do estudo da rede 1 do estudo de caso 4.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	1904,0	1802,0	900,0	850,0
2	1160,0	1236,0	787,0	840,0
3	794,5	808,0	551,3	720,0
4	908,0	1010,0	810,0	900,0
5	1210,0	1884,0	337,5	1080,0
6	119,5	264,1	45,0	205,7
7	384,0	526,3	236,2	411,4
8	119,5	264,1	67,5	205,7
9	116,5	261,1	78,7	231,4
10	610,0	1076,6	112,5	617,1
11	363,0	667,9	101,2	385,7
12	366,0	670,4	67,5	385,7
13	115,0	260,1	90,0	231,4
14	44,8	69,3	0,0	19,3
15	83,7	103,9	14,6	28,9
16	83,7	103,9	16,7	28,9
17	14,9	66,3	0,0	45,0
18	83,7	102,4	16,7	38,6
19	27,9	66,3	8,3	45,0
20	419,4	502,5	0,0	75,0
21	13,9	32,6	9,4	28,9
22	115,6	106,9	5,4	0,0
23	83,7	103,9	12,5	28,9
24	14,9	66,3	0,0	45,0
25	29,8	67,3	0,0	38,6
26	224,4	276,6	0,0	34,3
27	260,5	280,6	5,4	22,9
28	224,4	276,6	0,0	34,6
Total	9.859,5	12.956,0	4.273,6	7.578,0

QUADRO 27 Resultados do estudo da rede 2 no estudo de caso 4.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	1644,9	1749,0	617,1	825,0
2	1064,6	1236,0	720,0	840,0
3	264,1	307,0	205,7	240,0
4	1036,6	608,0	925,7	540,0
5	1370,7	2296,0	514,3	1260,0
6	135,6	307,0	642,9	240,0
7	396,2	612,0	308,6	480,0
8	135,6	307,0	64,3	240,0
9	132,6	304,0	90,0	270,0
10	690,4	1248,0	192,9	720,0
11	411,2	775,0	154,3	525,0
12	414,2	777,5	115,7	525,0
13	131,1	303,0	102,9	270,0
14	52,2	83,3	6,5	31,3
15	100,5	124,9	30,3	47,0
16	100,5	124,9	30,3	47,0
17	25,8	80,3	9,7	62,6
18	100,5	123,4	30,3	58,7
19	26,3	80,3	7,3	62,6
20	427,5	432,8	6,5	0,0
21	24,8	39,6	19,5	35,2
22	108,5	127,9	0,0	23,5
23	100,5	124,9	30,3	47,0
24	25,8	80,3	9,7	62,6
25	49,2	81,3	19,5	54,8
26	237,8	326,3	11,4	83,5
27	296,6	330,3	43,8	69,6
28	237,8	326,3	11,4	83,5
total	9.742,1	13.316,3	4.920,9	7.743,9

QUADRO 28 Resultados do estudo da rede 3 do estudo de caso 4.

O p e r.	Necessidade Total de Recursos (homens-dias)		Recursos Improdutivos (homens-dias)	
	A	B	A	B
1	1905,0	1904,0	900,0	900,0
2	1064,6	1160,0	720,0	900,0
3	907,0	908,0	810,0	810,0
4	1036,6	908,0	925,7	810,0
5	1370,7	1884,0	514,3	1080,0
6	542,3	930,0	257,1	720,0
7	843,4	1272,0	154,3	600,0
8	544,3	930,0	257,1	630,0
9	138,6	162,0	18,1	45,0
10	106,2	121,5	158,5	33,8
11	18,5	77,0	3,4	60,0
12	74,4	120,0	30,2	45,0
13	445,1	490,0	6,0	40,0
14	109,2	160,0	7,9	60,0
15	74,4	120,0	3,0	45,0
16	18,5	77,0	3,4	60,0
17	36,2	78,0	6,0	45,0
19	225,8	314,7	0,0	80,0
20	269,0	318,7	14,2	53,3
21	225,8	314,7	0,0	80,0
Total	9.955,5	12.141,6	4.789,2	5.247,1

INFOTEC - 23-4777

INFOSHOPPING - 22-0774

INFORMAQ - 24-0022

INFORMATIZA - 22-9892

REF.

HP-DESKJET 500

REF 51608A