

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO DIONIZIO DE PAIVA CARLOS  
RAFAEL APARECIDO GRACIOLI RITTA  
RAFAEL MARQUES PALLONI**

**PERT/CPM NO PLANEJAMENTO DE OBRAS**

**Santos – SP  
Maio/ 2016**

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO DIONIZIO DE PAIVA CARLOS  
RAFAEL APARECIDO GRACIOLI RITTA  
RAFAEL MARQUES PALLONI**

**PERT/CPM NO PLANEJAMENTO DE OBRAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial para  
obtenção do título de engenheiro à  
Faculdade de engenharia da Universidade  
Santa Cecília, sob a orientação do Me.  
Orlando Carlos Batista Damin.**

**Santos – SP  
Maio/ 2016**

GUSTAVO DIONIZIO DE PAIVA CARLOS  
RAFAEL APARECIDO GRACIOLI RITTA  
RAFAEL MARQUES PALLONI

PERT/CPM NO PLANEJAMENTO DE OBRAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil à Universidade Santa Cecília, sob a orientação do Professor Me. Orlando Carlos Batista Damin.

Data da aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof.: Eng.º Me. Orlando Carlos Batista Damin  
Orientador

---

Prof.: Eng.º Me. João Guedes Neto

---

Eng.º Fernando Marques Ribeiro

## DEDICATÓRIA

*Nossa formação não seria possível sem a ajuda dos nossos queridos pais Emiliana Guimarães de Paiva Carlos, Wanderley Dionizio Carlos, Silvia Regina Ribeiro Marques Palloni, Elmo Benedito Palloni, José Ritta e Rosangela de Jesus Gracioli Ritta, que nos ensinaram todos os valores necessários para que nosso caráter fosse construído, de maneira íntegra e honrada, por sempre nos fazer acreditar na realização de todos os nossos sonhos buscando as forças em Deus. Portanto, nosso trabalho é dedicado a vocês.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer a todos as pessoas que colaboraram diretamente e indiretamente para a elaboração deste trabalho. Aos familiares e namoradas, que incentivaram nossos esforços e nos compreenderam nos momentos de isolamento para a realização das pesquisas. Ao professor Me. Orlando Carlos Batista Damin pela orientação, atenção e principalmente pela paciência, em todos os momentos que precisamos durante a nossa jornada. A professora Me. Rosana Aló Maluza Braga, por ter nos aconselhado e aberto nossos olhos em um momento de dificuldade durante o desenvolvimento do trabalho. Agradecemos ao mestre de obras Francisco “Pelé” de Freitas, e aos engenheiros que nos supervisionaram durante o estágio, nos ensinando toda a parte prática da construção civil. Agradecemos ao auxílio dos amigos, que sempre nos acalmaram com palavras de descontração durante todo o curso de graduação de engenharia civil.

## RESUMO

Desde Taylor, Fayol e Ford, a administração científica vem evoluindo com extrema rapidez. A partir da década de 50, técnicas como programação linear, teoria de filas e programação de estoques vieram dar nova dimensão matemática a administração. Em uma época de retração do mercado aonde a palavra de ordem é a redução de custos é preciso que o planejamento do empreendimento seja feito como um todo, relacionando-se recursos humanos, financeiros, de materiais e equipamentos, dentro dos parâmetros de prazo, custo, qualidade e riscos previamente estabelecidos. Desde 1957 surgem, na linha de pesquisa operacional, dois métodos: PERT (Program Evaluation and Review Technique) de caráter probabilístico e o CPM (Critical Path Method) de aspectos determinísticos. A partir de 1962 os dois métodos são aplicados, formando a sigla PERT-CPM. Neste contexto, o presente trabalho abordou de maneira estritamente bibliográfica, o planejamento, a previsão e a programação das atividades de um empreendimento. A conclusão foi que o método mesmo sendo datado de 1957 é usual para o planejamento de empreendimentos nos dias atuais.

**Palavras-chave:** PERT/CPM; Planejamento; Diagrama de rede; Durações aleatórias; Caminho crítico;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre os métodos (MATTOS, 2010) .....	14
Figura 2 – Equivalência de arranjos Blocos e Flechas (MATTOS, 2010).....	15
Figura 3 – Diagrama demonstrativo da data cedo (HIRSCHFELD, 1987). .....	18
Figura 4 – Diagrama demonstrativo da data Tarde. (HIRSCHFELD, 1987).....	19
Figura 5 - Diagrama de rede com a duração (HIRSCHFELD, 1987).....	20
Figura 6 – Diagrama de rede com caminho crítico (HIRSCHFELD, 1987).....	21
Figura 8 – Gráfico do desvio padrão (MATTOS, 2010). .....	26
Figura 9 – Caminho crítico probabilístico. (MATTOS, 2010) .....	28
Figura 10 – Probabilidade de ocorrência (MATTOS, 2010) .....	30
Figura 12 - Cronograma de barras (HIRSCHFELD, 1987) .....	33
Figura 13 – Cronograma PERT/CPM (HIRSCHFELD, 1987).....	34
Figura 14 - Comparação de custos planejado e real (LIMMER, 1996).....	37
Figura 15 - Elementos para avaliação do desempenho (LIMMER, 1996). .....	38
Figura 16 – Diagrama de rede com durações (AUTORES, 2016).....	42
Figura 17 – Diagrama de rede com datas de cedo (AUTORES, 2016).....	42
Figura 18 – Diagrama de rede com datas de tarde (AUTORES, 2016) .....	43
Figura 19 – Diagrama de rede com caminho crítico (AUTORES, 2016). .....	44
Figura 20 – Desvios-padrão característicos (AUTORES, 2016).....	46
Figura 21 – Diagrama de rede de uma casa (SALIM, 2013). .....	50
Figura 22 – Montagem no MS Project (SALIM, 2013).....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de tabela para rede PERT/CPM.....	21
Tabela 2 – Durações probabilísticas na distribuição beta (MATTOS, 2010) .....	25
Tabela 3 – Duração esperada, desvio padrão e variância (MATTOS, 2010) .....	27
Tabela 4 - Fator de Probabilidade (K) (MATTOS, 2010) .....	29
Tabela 5 – Representações do Cronograma PERT/CPM .....	34
Tabela 6 – Precedência e duração das atividades do ciclo (AUTORES, 2016). .....	41
Tabela 7 – Precedência das atividades com caminho crítico (AUTORES, 2016) .....	44
Tabela 8 – Cálculos das durações esperada, desvio-padrão e variância (AUTORES, 2016). .....	45
Tabela 9 – Desvios-Padrão (AUTORES, 2016) .....	46
Tabela 10 – Fator de Probabilidade para exercício (K) (MATTOS, 2010) .....	47
Tabela 11 – Montagem da rede PERT/CPM de uma casa (SALIM, 2013). .....	49

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	10
1.1 - Objetivo geral .....	12
1.2 - Objetivo Especifico .....	12
1.3 – Hipóteses.....	12
2 – BASES GERAIS.....	13
2.1 – Origem.....	13
2.2 – Definições e Conceitos .....	14
2.2.1 – Tipos de diagrama de rede .....	14
2.2.2 – Atividade e Evento .....	16
2.3 – Planejamento de uma rede.....	16
3 - CAMINHO CRÍTICO .....	18
3.1– Cedo e tarde de um evento .....	18
3.2 – Durações das atividades.....	20
3.3 – Definindo o caminho crítico.....	21
3.4 – Estimativas de tempo da rede .....	22
3.4.1 – Durações Aleatórias .....	22
3.4.2 – Duração Esperada .....	23
3.4.3 – Distribuição beta.....	24
3.4.4 – Desvio padrão da duração ( $\sigma$ ).....	25
3.4.5 – Variância da duração ( $\sigma^2$ ).....	26
3.4.6 – Caminho crítico probabilístico .....	27
3.4.7 – Probabilidade de um prazo qualquer.....	28
3.5 – Folgas.....	30
4 – CRONOGRAMAS PERT/CPM.....	33
4.1 – Diferenças entre Gráfico de Gantt e Cronograma PERT/CPM.....	33
5 – APLICAÇÕES E DISCUSSÕES DO MÉTODO.....	35
5.1 - Alocações de recursos .....	35
5.2 – Análise de custos.....	35
5.3 – Análise de desempenho .....	36

5.4 – Controles .....	39
6 – Aplicação de métodos em uma rede real .....	41
7 – Uso do PERT/CPM em computadores .....	48
8 – Análise e Conclusão.....	51
8.1 – Filosofia do êxito do plano e do controle.....	51
9 – Refêrencias Bibliograficas .....	52

## 1 - INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores do progresso da maior parte das nações nos últimos cem anos foi a transformação da arte de administrar, numa ciência de vários requintes. Na última década, as decisões empresariais, administrativas e construtivas eram tomadas por meio da intuição, experiência ou coragem pessoal e, quando muito, utilizava-se como base algumas regras empíricas de análise das possibilidades (HIRSCHFELD, 1987). O que se tem observado, tanto na execução quanto no gerenciamento da maior parte das construções habitacionais, é a predominância de um sistema informal (LIMMER, 1996). Uns dos problemas mais comuns é a incompatibilização de projetos e a falta de comunicação entre as equipes responsáveis por cada serviço que implica diretamente na transmissão de informações importantes a respeito da execução da obra, portanto, refletindo essas falhas no cumprimento do prazo de entrega e caso não sejam tomadas as providencias corretas, no aspecto qualitativo do mesmo.

“O problema da qualidade hoje se situa em um plano muito diferente no qual a qualidade a obter era definida nas especificações do projeto, também conhecidas como Caderno de Encargos” (LIMMER, 1996).A grande dificuldade é a controversa filosofia das grandes empresas em colocar qualidade e produtividade no mesmo patamar de importância, onde produtividade visa predominantemente o lucro dos colaboradores e das empresas envolvidas, não exatamente o bem do cliente.Para se alcançar o objetivo desejado sem que haja queda de rendimento nas atividades e principalmente que não se percam as características esperadas do produto, é preciso que o planejamento seja feito como um todo. Segundo Fayol, existem cinco elementos fundamentais na arte de administrar, sendo eles: prever, organizar, comandar, coordenar e controlar (HIRSCHFELD, 1987).

O presente trabalho apresentou uma ferramenta capaz de envolver esses cinco elementos em um sistema de planejamento que transforma um fluxo de atividades de diversas complexidades em algo prático e simples, em formas de diagramas de rede e cronogramas que associados, fornecem ao usuário um sistema completo para o planejamento das atividades que ocorrerão na obra, adquirindo a possibilidade de prever as datas de início e término (cedo e tarde) de execução com suas devidas durações, mantê-las organizadas de forma que possam ser aplicadas folgas para o desenvolvimento de alguns serviços, respeitando as suas

interdependências para que não haja eventuais atrasos, comandar a realização das tarefas focando a duração para garantir que ocorram no prazo previsto, coordenar de maneira que com as informações coletadas in-loco, referentes a execução sejam usadas de maneira eficiente para elaborar medidas adequadas e controlar as atividades de forma que todas se comportem de acordo com as medidas adotadas pelo planejador, afim de que não haja nenhuma surpresa na hora de introduzir ou retirar uma nova tarefa conforme o plano de execução avançar, sempre de forma com que os prazos das atividades críticas, ou caminho crítico da rede, sejam seguidas à risca. Com finalidade de auxiliar o controle das atividades foi criado o cronograma PERT/CPM auxiliando a execução dos gráficos de Gantt, ou gráfico de barras, facilitando a visualização de atividades simultâneas, caminho crítico e suas durações, assim como suas folgas, porém, devido à falta de clareza relacionada as interdependências das tarefas, torna-se indispensável a utilização do diagrama de rede em conjunto com o cronograma PERT/CPM.

### 1.1 - OBJETIVO GERAL

Apresentar o sistema PERT/CPM no planejamento de obras.

### 1.2 - OBJETIVO ESPECIFICO

Aplicar métodos de PERT/CPM em um cronograma de estrutura de uma obra real.

Apresentar por meio da utilização do CPM, a identificação do caminho crítico;

### 1.3 – HIPÓTESES

Apesar do uso do sistema ter iniciado na década de 60, é possível aplicar o método hoje no planejamento de obras.

## 2 – BASES GERAIS

### 2.1 – ORIGEM

O método PERT que significa Program Evaluation and Review Technique cuja tradução é Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos foi desenvolvido pela empresa de consultoria BOOZ, ALLEN & HAMILTON INTERNATIONAL contratada pelos Estados Unidos da América na década de cinquenta, durante um conflito armamentista entre a extinta União Soviética e os Estados Unidos da América pela hegemonia política, econômica e militar. Este método foi inicialmente utilizado no planejamento e o controle do *Projeto Polaris*, um míssil balístico intercontinental com ogivas nucleares. (HIRSCHFELD, 1987)

Este projeto envolveu para sua realização cerca 250 empreiteiros principais e aproximadamente 9.000 subempreiteiros e muitas agências do governo. A importância da conclusão do foguete *Polaris* era tamanha, que não se cogitava a possibilidade de atrasar o término de sua execução. Foi então criado um grupo encarregado de desenvolver um método para aplicar no gerenciamento do programa de mísseis balísticos. O *Projeto Polaris* foi iniciado em 1955 tendo prazo de término para 1963 e com a utilização do método PERT foi concluído em 1960, sendo que, o método só foi introduzido em 1958 gerando um ganho de aproximadamente 3 anos no cronograma.

Nesta mesma década surgiu o método CPM que significa Critical Path Method cuja tradução Método do Caminho Crítico desenvolvido pelas empresas Dupont de Nemours e Remington Rand Division, da Sperry Rand Corporation ambas contratadas pela LOCKHEED AIRCRAFT CORPORATION, para o planejamento e construção de aviões bombardeiros, que estava preocupada com os elevados custos e o tempo para pesquisa e criação de novos produtos. O CPM foi introduzido no planejamento dos projetos dos aviões, este diagrama permitia demonstrar o tempo de projeto de maneira precisa (HIRSCHFELD, 1987).

## 2.2 – DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Os diagramas PERT/CPM permitem que sejam indicadas as relações lógicas de interdependência entre as inúmeras atividades do programa e que seja determinado o caminho crítico, isto é, a sequência de atividades que, se sofrer atraso em alguma de suas componentes, vai impactar a entrega do empreendimento. Cálculos numéricos permitem saber as datas mais cedo e mais tarde em que cada atividade pode ser iniciada, assim como a folga de que elas dispõem para que haja tempo para o planejamento antecipado de possíveis contratempos que possam causar uma delonga em algumas atividades assim gerando uma reação em cadeia, um declínio, nas demais atividades (MATTOS, 2010).

### 2.2.1 – Tipos de diagrama de rede

Existem duas formas de representação dos diagramas de rede, o método americano, também conhecido por método das flechas e o francês, denominado método dos blocos. Em seguida nas figuras 1 e 2, temos as comparações entre os métodos:

<b><i>Aspecto</i></b>	<b><i>Método das flechas (adm)</i></b>	<b><i>Método dos blocos (pdm)</i></b>
Atividade	Flecha	Bloco
Evento	Círculo (nó)	Não há
Atividade-fantasma	Há	Não há
Quantidade de atividades	Maior (pois tem fantasmas)	Menor
Ligações com defasagem	Não admite	Admite
Facilidade de traçar	Menor	Maior
Outras denominações	ADM, AOA	PDM, AON

Figura 1 – Comparação entre os métodos (MATTOS, 2010)

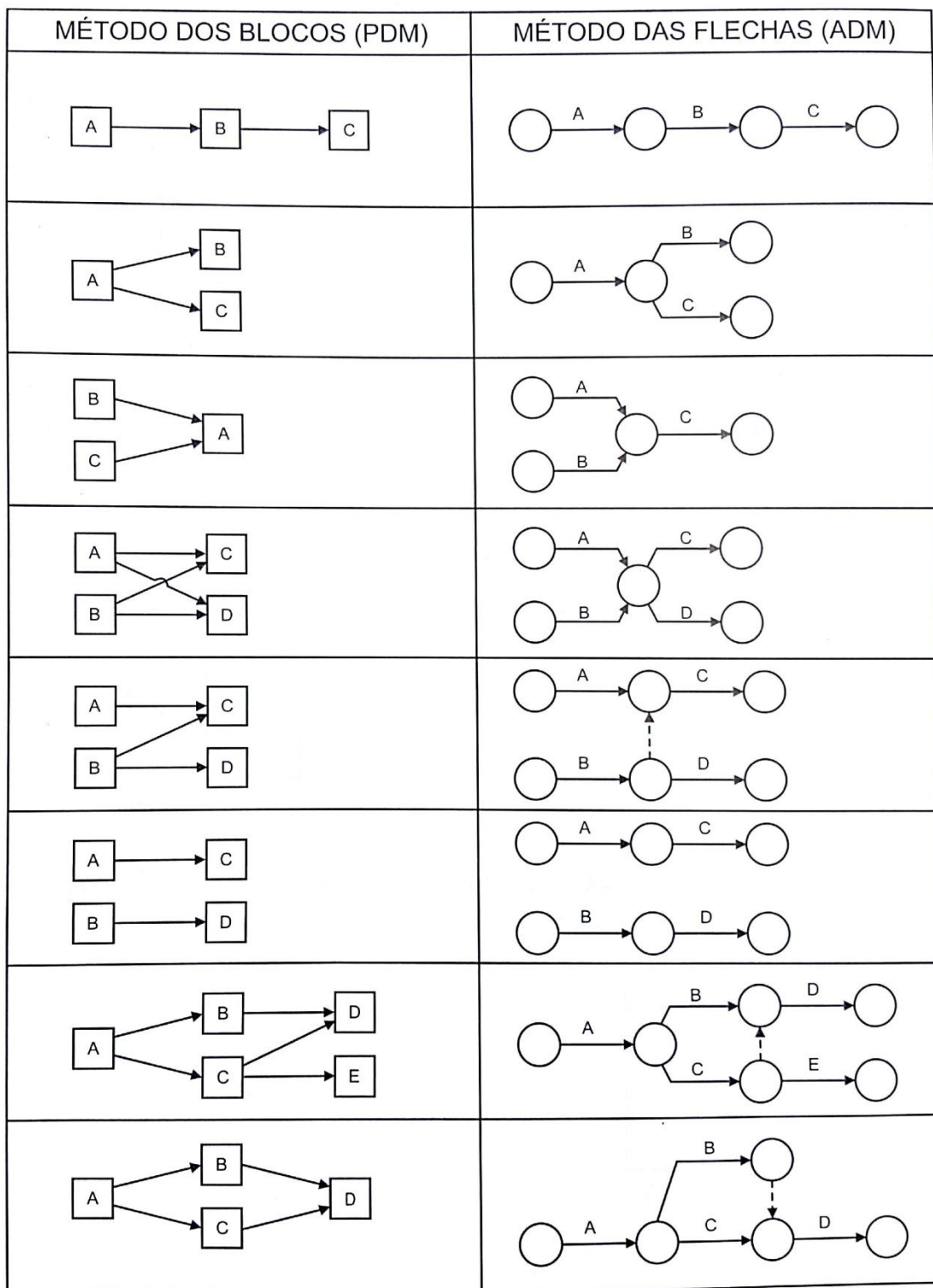


Figura 2 – Equivalência de arranjos Blocos e Flechas (MATTOS, 2010).

Os dois métodos apresentam suas vantagens e desvantagens, por exemplo, na técnica francesa é mais fácil adicionar novas atividades em um diagrama já formado, porém não se consegue demonstrar as interdependências das atividades,

já à técnica americana faz isso muito bem, só que muitas vezes é necessário refazê-lo por completo para encaixar uma nova atividade (HIRSCHFELD, 1987).

Fundamentado nos padrões da construção civil, onde a interdependência das atividades é o que determina o prazo final do cronograma e, tendo em vista que o atraso de uma atividade impacta no início de sua dependente, mesmo que ambos os métodos atinjam resultados semelhantes foi adotado o método americano por demonstrar mais claramente a dependência entre as atividades.

### 2.2.2 – Atividade e Evento

**Atividade:** é a identificação de uma etapa de um projeto que consome tempo e recursos, estabelecida em nível compatível com as necessidades e possibilidades de sua mensuração.

Representação Gráfica: Em flechas ou setas

Exemplo: Serviço de escavação.

**Atividades em série:** são consideradas em série quando uma atividade é executada após a outra, ou seja, a segunda atividade necessita que a primeira esteja concluída e assim sucessivamente.

**Atividades em paralelo:** são consideradas em paralelo quando duas ou mais atividades são realizadas simultaneamente, gerando um ganho de tempo para o cronograma.

**Atividades fantasmas:** são as atividades que não consomem tempo nem recursos, utilizadas apenas para definir relações de interdependência de serviços, ela é representada pela seta com linha tracejada.

**Evento:** Início ou término de uma ou mais atividades que não consomem recursos e tempo.

Representação Gráfica: Em flechas ou setas (oval ou circular), em bloco ou precedências inexistente o conceito.

Exemplo: Início ou término do serviço de escavação.

### 2.3 – PLANEJAMENTO DE UMA REDE

O planejamento de uma rede é a parte mais importante para se obter sucesso na execução. Inicialmente, o gestor deve buscar o conhecimento e o domínio de todas as atividades incluídas no cronograma do projeto, afim de, se determinar a exata ordem de interdependências de serviços. Porém, não se cria um planejamento

sem falarmos de tempo, e tempo neste caso se determina pela duração de cada atividade, ou seja, o tempo necessário para a execução de cada tarefa. Este tempo deverá ser adotado sempre na mesma unidade de medida com base no bom senso do planejador para escolhê-la. Deste modo, dependendo do projeto em questão, podemos utilizar dias (para planejamentos de curto prazo), semanas (para projetos de médio prazo) ou meses (para programas de longo prazo).

Após esta etapa concluída, o gestor deverá determinar os eventos inicial e evento final da rede, determinar as atividades que podem ser executadas simultaneamente e, por fim, calcular as datas de início e fim de cada tarefa. (HIRSCHFELD, 1987; LIMMER, 1996).

### 3 - CAMINHO CRÍTICO

#### 3.1- CEDO E TARDE DE UM EVENTO

As datas cedo e tarde, são definidas como:

- CEDO (EARLY): Data que representa a data mínima necessária para que uma atividade possa ter o início, não considerando eventuais imprevistos nas atividades antecedentes. (HIRSCHFELD, 1987). Por conseguinte, nenhuma atividade derivada desse trabalho pode começar antes dessa data (MATTOS, 2010). O cedo é representado como mostra à figura 3:

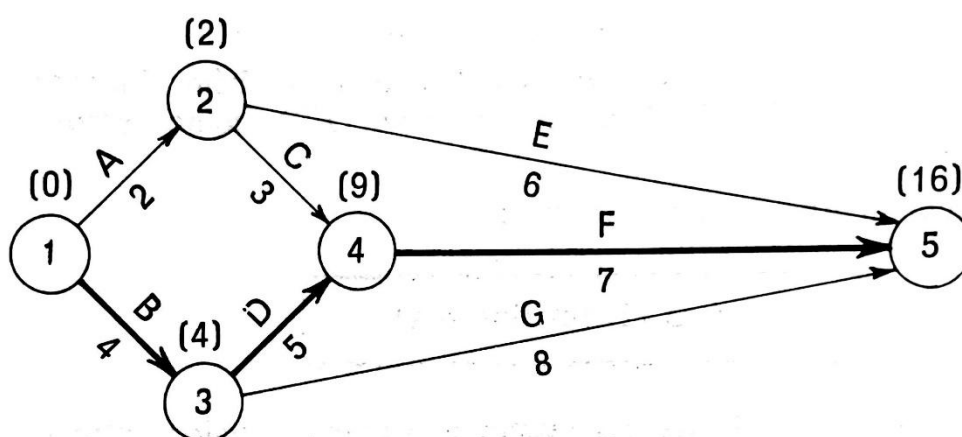


Figura 3 – Diagrama demonstrativo da data cedo (HIRSCHFELD, 1987).

Encontramos na figura 3, quatro atividades (A, B, C e D), com suas respectivas datas de cedo, simbolizadas pelo número acima do evento precedente, aonde, evento é um ponto de partida, aonde se checam as atividades que foram concluídas e as que não alcançaram o termino, para que se possa iniciar as novas tarefas dependentes ou reajustar o prazo das atrasadas.

Exemplo: Acima do **evento 1**, evidenciamos o **cedo de 0**, o que quer dizer que a **atividade A** começa no início do cronograma, logo no primeiro dia ou semana. Para calcularem-se os cedos seguintes, é somente somar a duração da atividade, que por sua vez, é o número indicado abaixo da letra.

Calculado conforme equação 1:

$$E = E_{anterior} + t \quad (1)$$

Sendo: E, Early ou Cedo

t: tempo da atividade e Eanterior: cedo anterior

$$E_2 = 0 + 2 = 2$$

Logo, o cedo do evento 2, é 2 ou  $E_2 = 2$ .

- TARDE (LATE): É a data-limite da realização da atividade, qualquer execução que ultrapassar essa data acarretaria em um atraso do projeto planejado (HIRSCHFELD, 1987). Desta maneira o tarde é data de conclusão de cada atividade, portanto com finalidade de calcular o tarde, já obtivemos o Cedo demonstrado no tópico acima. O tarde é representado na figura 4:

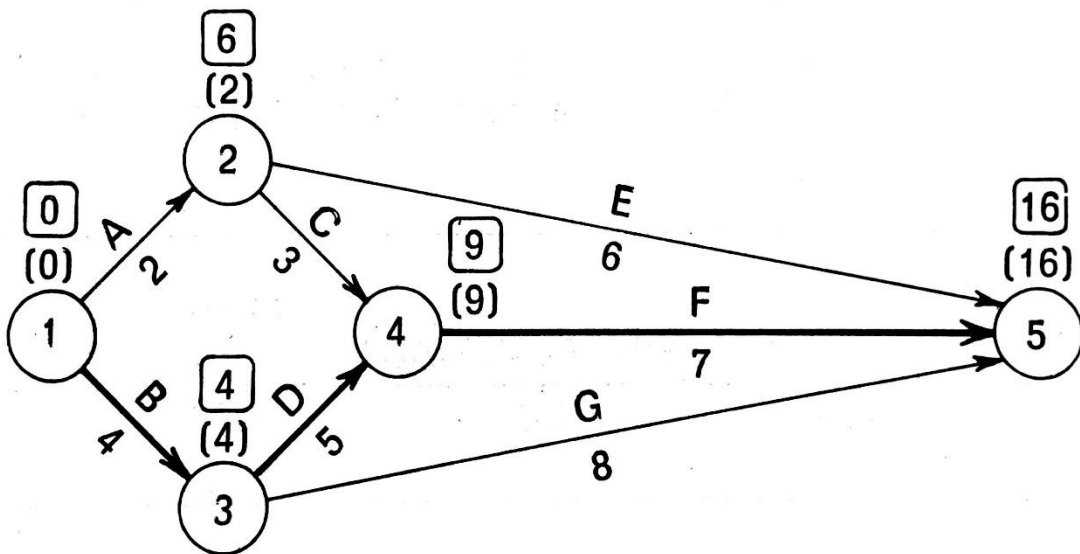


Figura 4 – Diagrama demonstrativo da data Tarde. (HIRSCHFELD, 1987)

Na figura 4, temos a representação do tarde das atividades, que são evidenciadas acima das datas de cedo que estão entre parênteses, representamos o tarde dentro de um retângulo. Para calculá-lo, por sua vez, é feito de trás para frente, pegamos a data final no caso, 16 e subtraímos da duração da atividade, como exemplo usarei a atividade F, que tem duração de 7.

Calculado conforme a equação 2:

$$L = L_{\text{posterior}} - t \quad (2)$$

Sendo: L, Late ou Tarde

t : duração da atividade e Lposterior: tarde posterior

$$L2 = 16 - 7 - 3 = 6$$

Logo, o tarde do evento 2, é 6 semanas, mostrando assim a folga que essa atividade possui, entre seu cedo (início) de 2 semanas para seu tarde (termino) de 6 ou  $L2 = 6$ .

### 3.2 – DURAÇÕES DAS ATIVIDADES

A duração das atividades é a combinação de recursos dados por materiais, mão de obra e equipamentos, abrangendo um custo final que é sujeito a limites e restrições. Neste contexto aplicamos o método de PERT/CPM para organizar as atividades e determinar o cronograma mais viável e produtivo para a obra considerando que na prática a duração das atividades estimadas no início do projeto, podem sofrer alterações conforme a execução.

Conforme iniciarmos os métodos devemos restringir nosso cronograma a uma unidade de tempo, seja ela, *dia*, *semana*, *mês*, de acordo com as particularidades do projeto (HIRSCHFELD, 1987).

Na rede PERT/CPM a duração é identificada na figura 5 pela linha de seta que une um evento no outro, representado como número abaixo da linha.

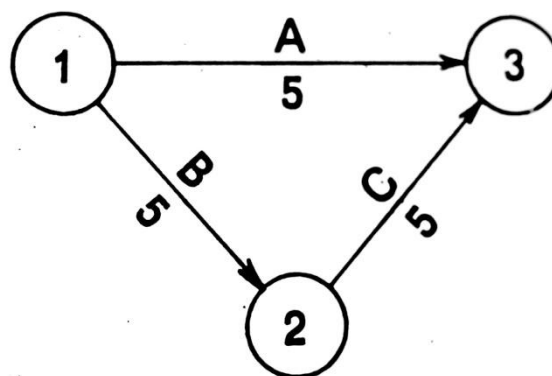


Figura 5 - Diagrama de rede com a duração (HIRSCHFELD, 1987).

### 3.3 – DEFININDO O CAMINHO CRÍTICO

O caminho crítico é a linha da rede em que os eventos possuem seu cedo e tarde com a mesma duração do início até o fim do projeto, ou seja, não há uma folga para a execução dessas atividades, por isso são consideradas atividades críticas, qualquer atraso nelas irá refletir no prazo de conclusão do projeto. Na figura 6 temos representado na linha B, D, F um exemplo de caminho crítico:

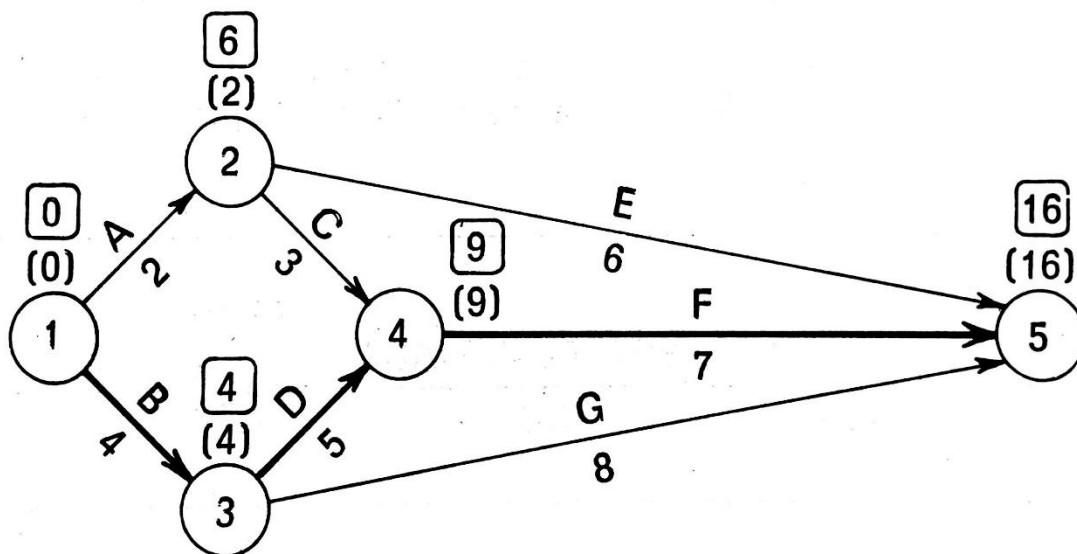


Figura 6 – Diagrama de rede com caminho crítico (HIRSCHFELD, 1987).

Sendo assim, podemos visualizar mais detalhadamente na tabela 1, as letras representando as atividades com suas respectivas durações em semanas:

Tabela 1 – Exemplo de tabela para rede PERT/CPM.

Caminho	Duração (semanas)
INICIO – A – E – FIM	$2 + 6 = 8$
INICIO – A – C – F – FIM	$2 + 3 + 7 = 12$
INICIO – B – G – FIM	$4 + 8 = 12$
INICIO – B – D – F – FIM	$4 + 5 + 7 = 16$

A data-limite é 16 semanas, porém uma linha da rede leva exatamente este prazo para a sequência das atividades serem concluídas, neste caso, essa linha é o caminho crítico desse cronograma, como evidenciado na figura 6 acima, todas suas

datas de cedo, tarde e seu prazo máximo, são idênticas, confirmando que tais atividades não contemplam com tempo de folga para sua realização.

### 3.4 – ESTIMATIVAS DE TEMPO DA REDE

#### 3.4.1 – Durações Aleatórias

A teoria do caminho crítico foi construída até este ponto a partir de durações determinísticas, como o CPM foi desenvolvido. Para cada atividade foi atribuído um valor único, uma duração determinada.

Porém, o meio de definição das durações é um exercício de elaboração de hipóteses mais prováveis. Mesmo que se utilizem dados de obras e atividades similares, é inevitável que se tenha uma imprecisão. Parte daí o conceito de duração probabilística. Foi nessa linha que se desenvolveu o método PERT (MATTOS, 2010).

Numa hipótese em que um planejador reunido com a sua equipe de planejamento, está coordenando valores de tempos de durações de várias atividades, nas quais, algumas tarefas terão seus tempos perfeitamente conhecidos e determinados, já outras em compensação, poderão apresentar dúvidas quanto a determinação de seu tempo de duração. Neste caso, o planejador tem duas alternativas:

- 1- Adotar o tempo de duração das atividades baseados em sua experiência, intuição e bom senso.
- 2- Desenvolver uma análise PERT da distribuição dos tempos de duração.

Adotar a análise PERT significa assumir que toda duração tem uma margem de erro associada a sua variabilidade e que trabalhar com um valor único não é a melhor das decisões.

A abordagem probabilística é determinada através de três hipóteses de durações:

- Tempo Otimista (O): Tempo estimado quando as condições são ideais para a realização dos serviços.

- Tempo Pessimista (P): Tempo estimado relativo ao pior cenário possível, quando as coisas não fluem como deveriam.

- Tempo mais provável (M): Tempo que representa a duração mais plausível dentro das condições normais de trabalho. É o tempo que em teoria, ocorrerá mais frequentemente se a atividade for executada repetidas vezes.

É extremamente importante utilizar dados coerentes na determinação dos três parâmetros citados anteriormente, se balizados de forma inadequada a finalidade do planejamento estará corrompida (HIRSCHFELD, 1987; MATTOS, 2010).

### 3.4.2 – Duração Esperada

Após denominarmos as durações otimista, pessimista e mais provável de O, P e M, respectivamente, temos a duração esperada expressa pela equação 3:

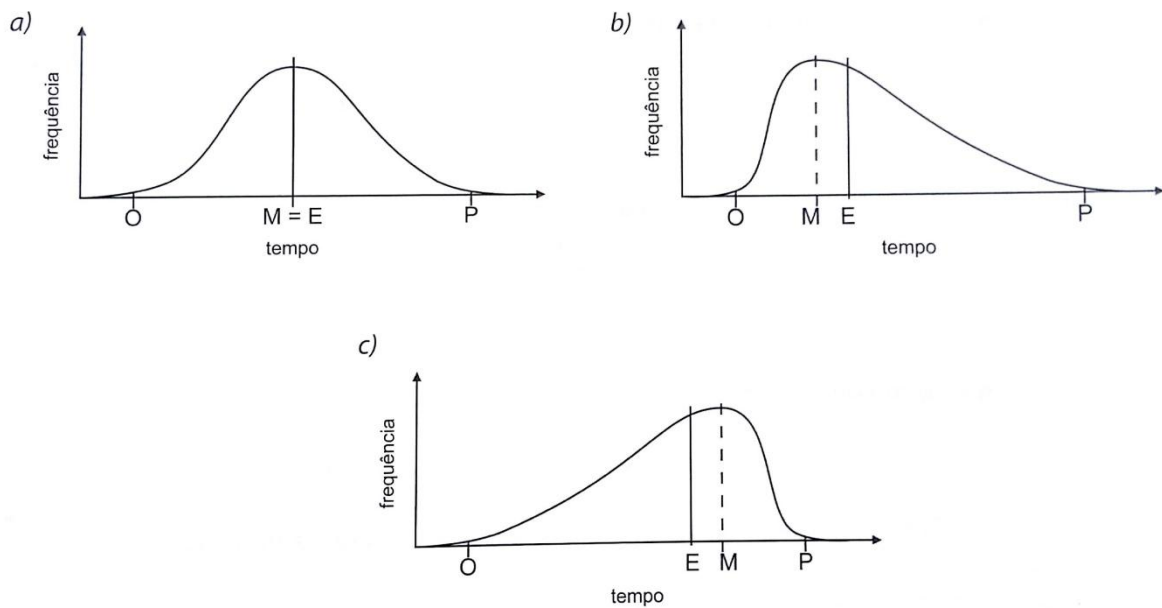
$$E = \frac{O+4M+P}{6} \quad (3)$$

Sendo: E, duração esperada

O: tempo otimista; M: tempo mais provável; P: tempo pessimista.

Esta equação, resulta em uma média ponderada em que o peso da duração mais provável é dado como 4 devido a sua probabilidade de ocorrência ser maior, enquanto as estimativas otimistas e pessimistas têm peso 1. Estatisticamente, o resultado desta equação representa um valor que possui 50% de probabilidade de ser cumprido, e 50% de não ser cumprido.

As durações podem ser representadas por meio gráficos em uma distribuição BETA, conforme mostra a figura 7.



**Figura 7 - Duração esperada (MATTOS, 2010)**

### 3.4.3 – Distribuição beta

A distribuição beta mostrada na figura 7, apresenta por meio de uma curva a probabilidade contínua de cada intervalo de tempo ser atingido, uma vez que o gráfico relaciona a variável duração (tempo) e a frequência de ocorrência (probabilidade) das durações estimadas.

Interpretando os tipos de curva BETA:

- (a) Distribuição simétrica - ocorre em casos onde a duração mais provável (M) é o ponto médio entre as durações otimista (O) e pessimista (P). Sendo assim, a duração esperada (E) coincidirá com a duração mais provável (M) no gráfico, nos dando a fórmula  $E = M$  e dividindo a área do gráfico em duas partes iguais, mostrando que a distribuição beta, também pode ser vista como uma distribuição normal.
- (b) Distribuição assimétrica distorcida para a direita – ocorre em casos onde a duração mais provável (M) encontra-se mais próxima da duração otimista (O) do que da duração pessimista (P), tendo como fórmula  $E > M$ .
- (c) Distribuição assimétrica distorcida para a esquerda – ocorre em caso onde a duração mais provável (M) encontra-se mais próxima da duração pessimista (P) do que da duração otimista (O), tendo como fórmula  $E < M$  (MATTOS, 2010).

Na tabela 2 abaixo, podemos observar resumidamente:

**Tabela 2 – Durações probabilísticas na distribuição beta (MATTOS, 2010)**

Distribuição beta	Durações	Duração Estimada (E)
Simétrica (distribuição normal)	$M - O = P - M$	$E = M$
Assimétrica distorcida para a direita	$P - M > M - O$	$E > M$
Assimétrica distorcida para a esquerda	$M - O > P - M$	$E < M$
Em todos os casos, a duração esperada (E) divide a área da curva em duas partes iguais. Ou seja, tem 50% de probabilidade de ser atingida.		

#### 3.4.4 – Desvio padrão da duração ( $\sigma$ )

Desvio padrão é uma grandeza de dispersão estatística que serve para medir o grau de incerteza associado à distribuição realizada. Estas grandezas nos dão a noção de variabilidade dos valores em torno da média aritmética dos valores. Neste caso, o desvio padrão nos posiciona sobre o quão afastado da duração esperada (E) as demais variações estão. Conforme a equação 4 de desvio padrão a seguir, é utilizada apenas para distribuição beta (distribuição de três pontos) (MATTOS, 2010).

$$\sigma = \frac{P - O}{6} \quad (4)$$

Sendo:  $\sigma$ , desvio padrão da duração

P: Tempo pessimista; O: Tempo otimista.

Conforme representado graficamente na figura 8:

- Há uma probabilidade de 68% de que a duração da atividade se encontre entre  $E-1\sigma$  e  $E+1\sigma$ ;
- Há uma probabilidade de 95% de que a duração da atividade se encontre entre  $E-2\sigma$  e  $E+2\sigma$ ;

- Há uma probabilidade de 99,7% de que a duração da atividade se encontre entre  $E-3\sigma$  e  $E+3\sigma$ ;

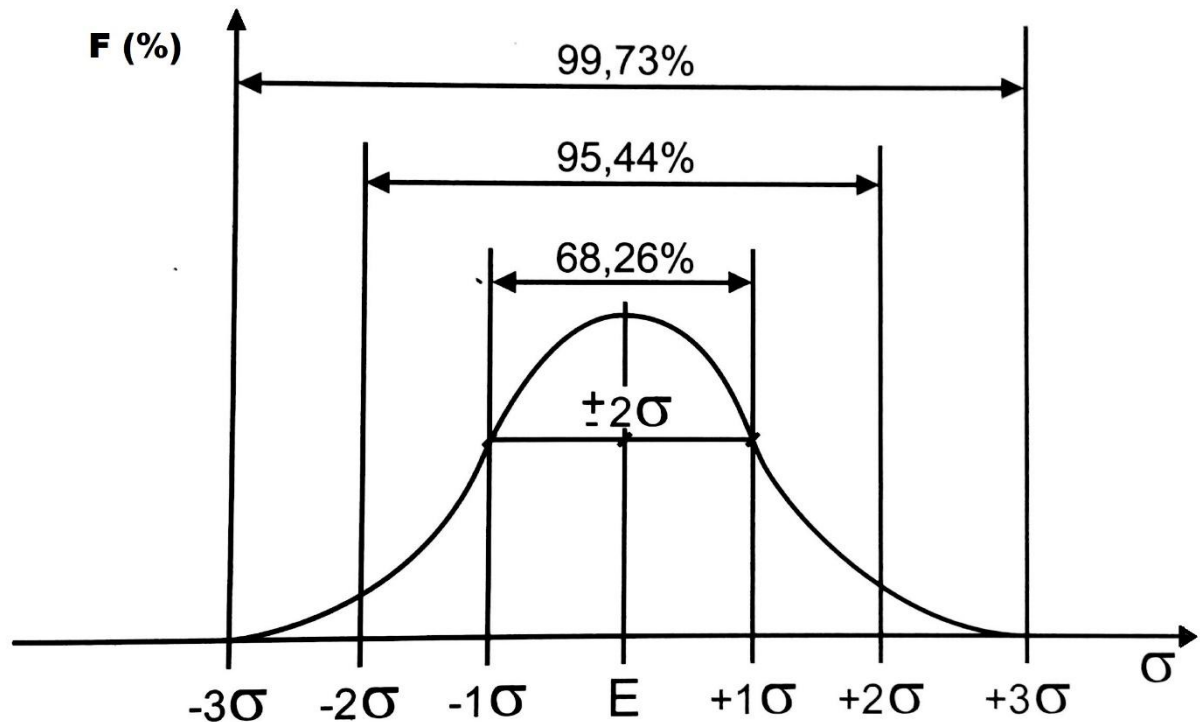


Figura 8 – Gráfico do desvio padrão (MATTOS, 2010).

Podemos também afirmar, que o desvio – padrão é:

- Um número não negativo;
- Segue a mesma unidade de medida que os dados da distribuição;
- Quanto maior o desvio – padrão, maior a incerteza. Isto varia de acordo com a diferença entre a duração otimista ( $O$ ) e pessimista ( $P$ ).
- Seu valor será nulo apenas se  $O$  e  $P$  forem idênticos.

### 3.4.5 – Variância da duração ( $\sigma^2$ )

Assim como o desvio – padrão, a variância está associada ao grau de incerteza dos valores ao redor da média aritmética da distribuição. Além do mais, podemos definir variância como o quadrado do desvio – padrão.

$$\text{Variância: } \sigma^2$$

As aplicações dessas grandezas de dispersão estatística implicam no norteamento do cálculo do caminho crítico probabilístico, influenciando completamente na precisão da duração total do projeto. Diante disto, o planejador poderá ter mais segurança no cálculo do seu cronograma e na geração do prazo total da obra (HIRSCHFELD, 1987; MATTOS, 2010)

### 3.4.6 – Caminho crítico probabilístico

A determinação do caminho crítico probabilístico segue a mesma linha de raciocínio do caminho crítico com durações determinísticas, porém, ao invés de utilizar a duração mais provável (M), adotaremos a duração esperada (E). A seguir a única diferença é que quando trabalhamos com probabilidades cada atividade do diagrama terá seu próprio desvio – padrão ( $\sigma$ ) e sua variância ( $\sigma^2$ ) (MATTOS, 2010). Para ilustrar a aplicação destas grandezas no desenvolvimento do caminho crítico probabilístico utilizaremos a tabela 3 e figura 9 do diagrama a seguir:

**Tabela 3 – Duração esperada, desvio padrão e variância (MATTOS, 2010)**

ATIV.	O	M	P	$E = (O+4M+P) / 6$	$\sigma = (P-O)/6$	$\sigma^2$
A	2	6	10	6	1,33	1,78
B	1	3	4	2,83	0,50	0,25
C	4	8	9	7,5	0,83	0,69
D	3	3	3	3	0	0
E	5	6	8	6,17	0,50	0,25
F	3	7	11	7	1,33	1,78
G	6	11	14	10,67	1,33	1,78
H	3	4	9	4,67	1	1

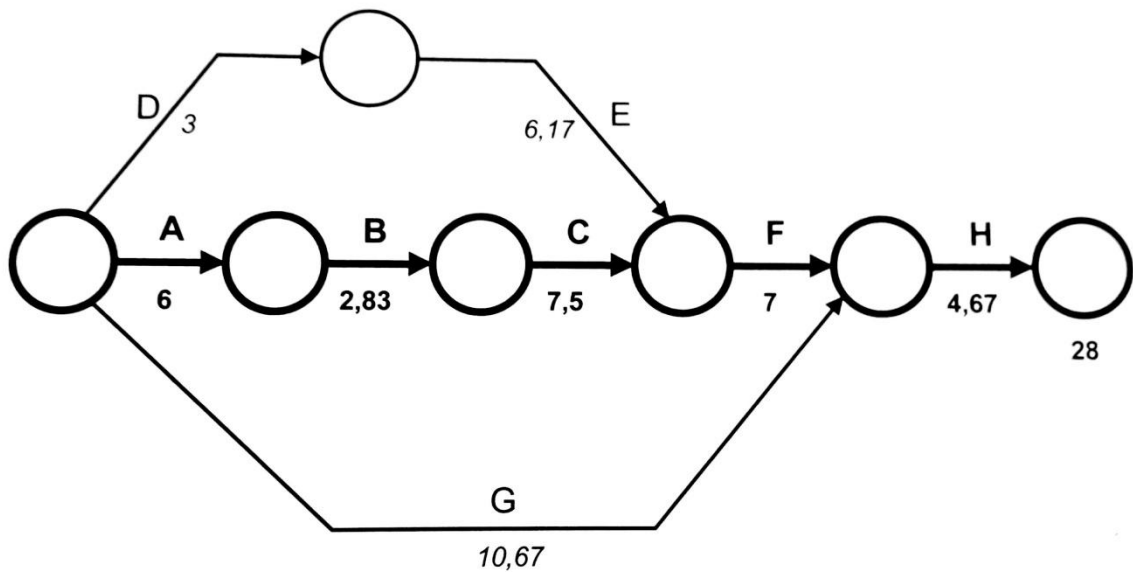


Figura 9 – Caminho crítico probabilístico. (MATTOS, 2010)

### 3.4.7 – Probabilidade de um prazo qualquer

Resumidamente, vimos que o planejamento por PERT/CPM encontrará um prazo T, determinado através lógica de precedência de atividades e execução de projetos. Como trabalhamos com durações probabilísticas teremos uma incerteza associada que será representada pelo desvio - padrão ( $\sigma$ ) ou pela variância ( $\sigma^2$ ).

O próximo passo, é saber qual a probabilidade deste prazo não ultrapassar os X dias (MATTOS, 2010). Para isso, teremos que considerar um fator de correção K baseado na teoria de distribuição de probabilidades e expresso pela equação 5:

$$K = \frac{X-T}{\sigma} \quad (5)$$

Onde: K, é o Fator de Probabilidade;

X: prazo cuja probabilidade de ocorrência se quer determinar;

T: prazo calculado da rede;

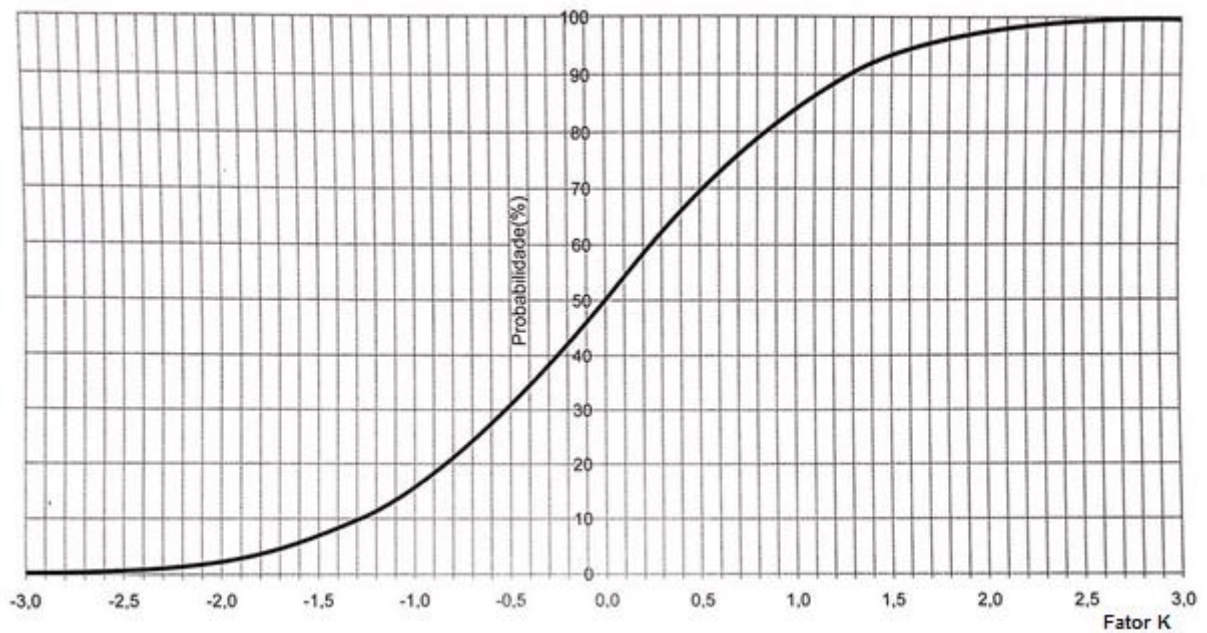
$\sigma$ : desvio – padrão.

Obtendo-se K, teremos na tabela 4 e na figura 10 a probabilidade de ocorrência de X, ou seja, a probabilidade de o projeto terminar em até x dias.

Tabela 4 - Fator de Probabilidade (K) (MATTOS, 2010)

<b>K</b>	<b>Probabilidade (%)</b>
< -3,0	0,00
-3,0	0,13
-2,9	0,19
-2,8	0,26
-2,7	0,35
-2,6	0,47
-2,5	0,62
-2,4	0,82
-2,3	1,07
-2,2	1,39
-2,1	1,79
-2,0	2,28
-1,9	2,87
-1,8	3,59
-1,7	4,46
-1,6	5,48
-1,5	6,68
-1,4	8,08
-1,3	9,68
-1,2	11,51
-1,1	13,57
-1,0	15,87
-0,9	18,41
-0,8	21,19
-0,7	24,20
-0,6	27,43
-0,5	30,85
-0,4	34,46
-0,3	38,21
-0,2	42,07
-0,1	46,02
0,0	50,00

<b>K</b>	<b>Probabilidade (%)</b>
0,1	53,98
0,2	57,93
0,3	61,79
0,4	65,54
0,5	69,15
0,6	72,57
0,7	75,80
0,8	78,81
0,9	81,59
1,0	84,13
1,1	86,43
1,2	88,49
1,3	90,32
1,4	91,92
1,5	93,32
1,6	94,52
1,7	95,54
1,8	96,41
1,9	97,13
2,0	97,72
2,1	98,21
2,2	98,61
2,3	98,93
2,4	99,18
2,5	99,38
2,6	99,53
2,7	99,65
2,8	99,74
2,9	99,81
3,0	99,87
> 3,0	100,00



**Figura 10 – Probabilidade de ocorrência (MATTOS, 2010)**

Com os dados representados no exemplo da tabela 4 e da figura 10 podemos observar que a probabilidade de ocorrência é diretamente proporcional ao valor de K.

### 3.5 – FOLGAS

Denominam-se folgas como os períodos de tempo que as atividades que não estão no caminho crítico da rede têm entre sua primeira data de término (PDT) e última data de término (UDT), estes serviços podem sofrer maiores delongas em sua execução com tanto que não extrapolem o período de folgas para não impactar nas atividades subsequentes. (STONNER, 2013).

Para calcularmos as folgas utilizamos as datas das atividades que por sua vez possuem quatro tipos, sendo elas:

- **PDI** é a Primeira data de início.
- **UDI** é a Última data de início.
- **PDT** é a Primeira data de término.
- **UDT** é a Última data de término.

Existem quatro tipos de folgas e suas respectivas equações:

**D** é o tempo de duração da atividade.

Folga Total (maior folga): é o maior intervalo disponível, apresentado na equação 6:

$$FT = (UDT) - (PDI) - (D) \quad (6)$$

Sendo: FT: folga total;

Folga Livre: é o intervalo entre as primeiras datas, conforme a equação 7:

$$FL = (PDT) - (PDI) - (D) \quad (7)$$

Sendo: FL: folga livre;

Folga Dependente: é o intervalo entre as últimas datas, indicada na equação 8:

$$FD = (UDT) - (UDI) - (D) \quad (8)$$

Sendo: FD, folga dependente

Folga Independente (Menor folga): é o menor intervalo disponível, equação 9:

$$FI = (PDT) - (UDI) - (D) \quad (9)$$

Sendo: FI, folga independente

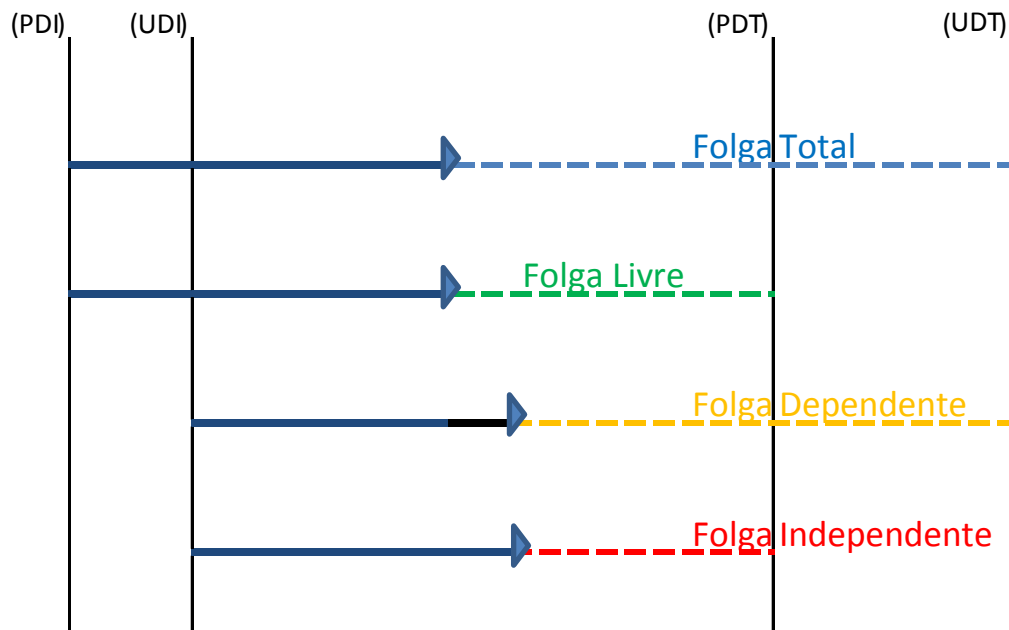


Figura 11 – Gráfico de Folgas (STONNER, 2013)

#### 4 – CRONOGRAMAS PERT/CPM

O cronograma de uma obra é usado para a programação das atividades planejadas, relacionando-as no tempo de acordo com o prazo estabelecido para a execução de cada uma delas (LIMMER, 1997). A ferramenta PERT/CPM auxilia em todas essas etapas de planejamento, execução e controle, para isso é utilizado um gráfico tipo Gráfico de Gantt, com adaptações, desta forma chamado de Cronograma PERT/CPM, apesar da facilidade de interpretação desse cronograma, é indispensável o uso em conjunto da Rede PERT/CPM para melhor visualização das interdependências dos serviços, que não são apresentados com clareza no cronograma (HIRSCHFELD, 1987).

##### 4.1 – DIFERENÇAS ENTRE GRÁFICO DE GANTT E CRONOGRAMA PERT/CPM

A diferença básica entre os dois métodos é a riqueza de detalhes que eles proporcionam ao usuário, o gráfico de Gantt, também conhecido como cronograma de barras, tem um layout mais básico como demonstrado na figura 12, não apresenta dados como: data de mais cedo de início; data mais tarde de término; folgas; atividades críticas e interligação entre atividades. O que pode levar o usuário a má interpretação dos serviços, considerando todas as tarefas como críticas, sendo que haveria uma folga na execução das mesmas.

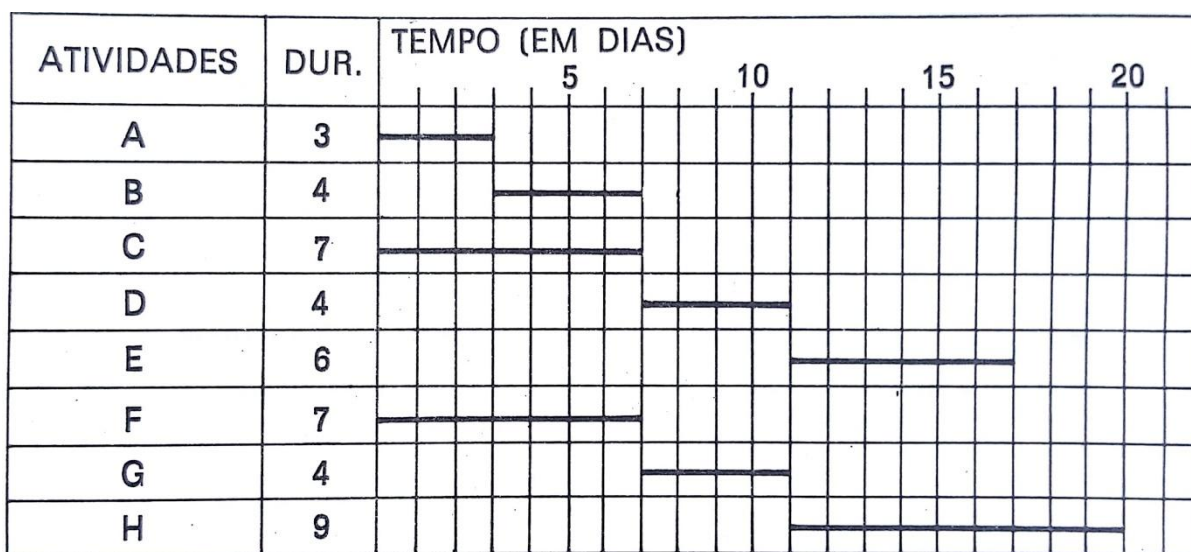


Figura 12 - Cronograma de barras (HIRSCHFELD, 1987)

No entanto, o Cronograma PERT/CPM, foi criado usando esse layout, porém adicionando tais informações, que facilitam a identificação de fatores essenciais para o planejamento como na tabela 5 e figura 13. Para a realização desse cronograma, o gerenciador deve realizar um bom serviço de calendário, que se trata de um calculado total de dias produtivos na semana, ou seja, quantos sábados, domingos e feriados há no período em que a atividade será executada, para então adicionar o total destes dias não trabalhados ao tempo de duração da atividade com a intenção de transmitir para o cronograma o tempo total em dias para que a empreitada seja concluída.



Figura 13 – Cronograma PERT/CPM (HIRSCHFELD, 1987)

O cronograma pode apresentar várias informações representadas como descrito na tabela 5:

Tabela 5 – Representações do Cronograma PERT/CPM

Informação	Como aparece no cronograma
Atividades	Letras de acordo com a rede
Duração	Tempo que a atividade leva
Folga total	Linha pontuada
Folga da atividade	Linha tracejada
Caminho critico	São as atividades que tem seu início no termino de outras atividades sem período de folga

## 5 – APLICAÇÕES E DISCUSSÕES DO MÉTODO

### 5.1 - ALOCAÇÕES DE RECURSOS

De acordo com Hirschfeld (1987, p. 145), “recursos são os meios utilizados para a execução das tarefas”. Esses recursos contendo, mão de obra (pedreiro, carpinteiro, soldador), Material (areia, cimento, chapa de aço), equipamento (máquina de solda, caminhão, empilhadeira) e dinheiro.

Assim sendo, a alocação dos recursos é a aplicação de todo o material, mão de obra e equipamento em determinado local para a execução das atividades do planejamento. Essa alocação sendo medida por quantidade (3 soldadores, 2 máquinas de solda, 10 chapas de aço) ou por qualidade (operador, empilhadeira, pallet de bloco). (MATTOS, 2010)

Exemplo: Um pedreiro executa 25 m<sup>2</sup> de alvenaria por dia que custam para a construtora R\$ 10,00 por m<sup>2</sup>, serão necessários os 25 m<sup>2</sup> de blocos para a execução, a massa para o assentamento, o equipamento que faz a mistura para o assentamento, além de tudo, no final da atividade, o custo de R\$ 250,00 reais por sua execução.

### 5.2 – ANALISE DE CUSTOS

Todo projeto é composto por uma série de custos, estes se “distribuem na execução das diversas atividades, supervisão dos serviços e gastos correntes para o funcionamento do escritório entre outras tantas fontes de despesa” (MATTOS, 2010, p. 324). Existem basicamente quatro tipos de custo:

**Custos diretos (CD):** São aqueles que estão relacionados aos materiais, mão de obra e equipamentos diretamente ligados às execuções das atividades.

**Custos indiretos (CI):** São aqueles que estão relacionados a impostos, seguros, contas de água, luz, telefone, equipe técnica ou administração local (engenheiro mestre, encarregados e a equipe de obra), A.R.T (Anotação de Responsabilidade Técnica), canteiro de obra, mobilização e desmobilização de pessoal, estes não estão ligados à execução das atividades. Com a aceleração do cronograma o custo indireto fica mais alto tendo em vista que haverá mais horas

extras da equipe de obra, ou até mesmo a contratação de mais funcionários para executar os serviços.

**Custos casuais (CC):** São aqueles que ocorrem eventualmente, que por sua vez se dividem em: multa por atraso da entrega do empreendimento, paga aos clientes, e prêmio por antecipação, é um incentivo dado a equipe que executará o empreendimento, este custo pode ou não se aplicar a alguma construtoras ou empreendimentos.

**Custo total (CT):** É a somatória de todos os custos citados acima e representado pela equação 10:

$$CT = CD + CI + CC \quad (10)$$

Sendo: CT, custo total

CD: custo direto;

CI: custo indireto;

CC: custo casual;

### 5.3 – ANÁLISE DE DESEMPENHO

A análise de desempenho é a comparação do custo realizado, com o custo estimado, onde estes são utilizados como indicador de desempenho, dados em função da medida do progresso do projeto em termos de custo (LIMMER, 1996), esta variação forma duas curvas, uma para o custo planejado e a outra para o real até a data de aferição, demonstradas de forma geral na figura 14:

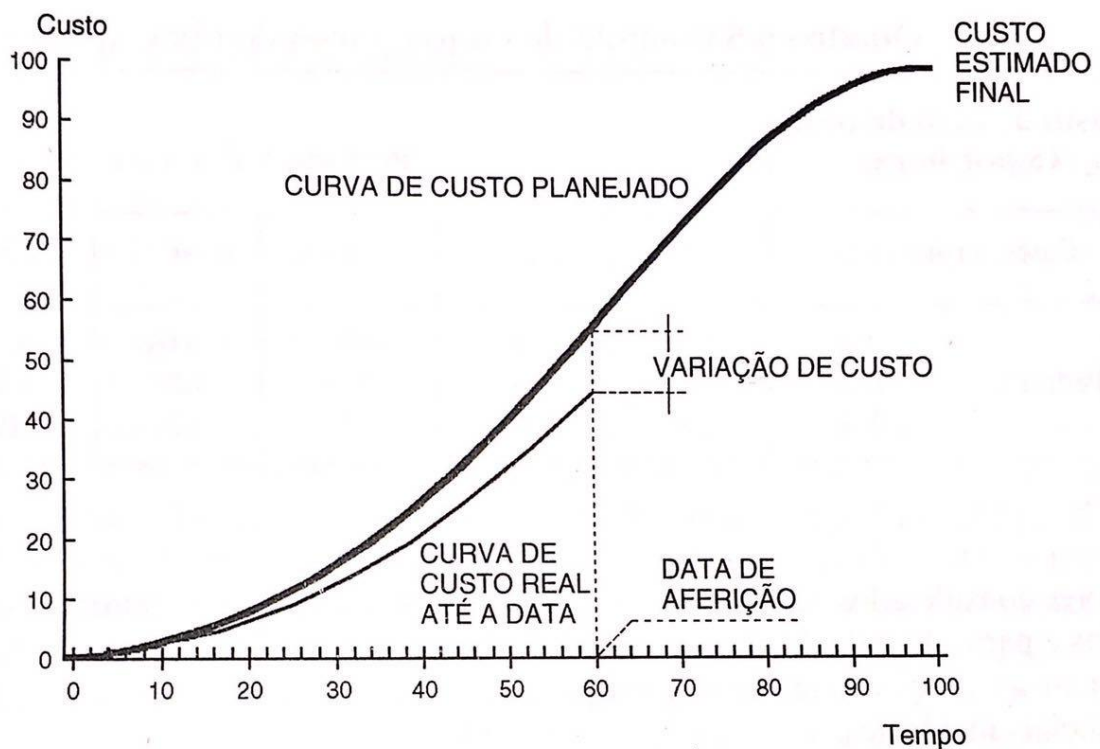


Figura 14 - Comparação de custos planejado e real (LIMMER, 1996).

Sendo:

**Custo estimado final:** É o custo que foi estimado no planejamento do projeto.

**Data de Aferição:** É a data escolhida para fazer a comparação dos custos.

**Varição de custo (VC):** É a diferença entre a curva do custo planejado e a curva do custo real até a data de aferição.

Na figura 14 os custos estimados são baseados em quantidades também estimadas, ambas estão sujeitas a erros, para evitá-los foi criado o MVTR (Método do Valor do Trabalho Realizado) capaz de estabelecer índices de desempenho com relação a custos e prazos demonstrados na figura 15:

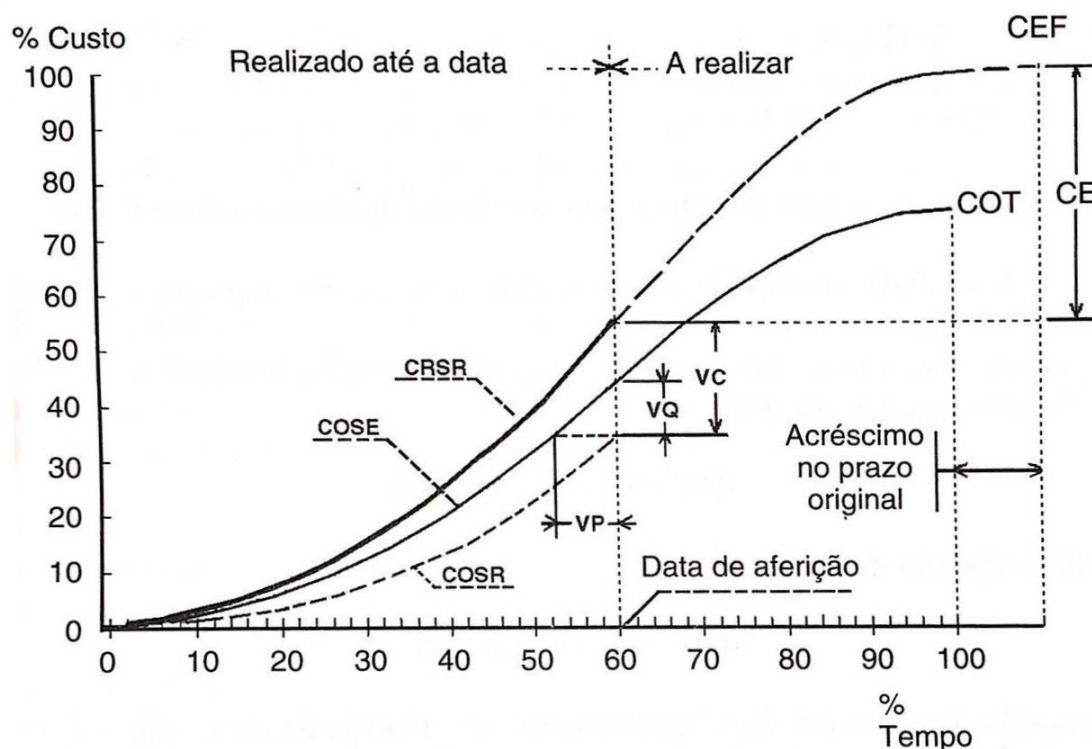


Figura 15 - Elementos para avaliação do desempenho (LIMMER, 1996).

Sendo:

**COSE (Custo Orçado de Serviços Estimados):** É a somatória do custo unitário estimado de cada serviço, dividido pela quantidade estimada até a data de aferição.

**COSR (Custo Orçado de Serviços Realizados):** É a somatória do custo unitário estimado de cada serviço, dividido pela quantidade real executada até a data de aferição.

**CRSR (Custo Real de Serviços Realizados):** É a somatória do produto do custo unitário real durante a execução de cada serviço, dividido pela quantidade real executada no período considerado.

**COT (Custo Orçado Total):** É a somatória dos produtos das quantidades estimadas de todos os serviços, dividido pela somatória dos preços unitários estimados.

**CEF (Custo Estimado Final):** É a soma do CRSR acumulado até determinada data com o valor acumulado do COSE.

**CET (Custo Estimado para Terminar):** É a variação entre o CRSR de um determinado período e o COSE acumulado.

IDC (Índice de Desempenho de Custo) se calcula pela equação 11:

$$IDC = COSR \div CRSR \quad (11)$$

IDP (Índice de Desempenho de Prazo) se calcula pela equação 12:

$$IDP = COSR \div COSE \quad (12)$$

VC (Variância de Custo) se calcula pela equação 13:

$$VC = CRSR - COSR \quad (13)$$

VQ (Valor Quantitativo) se calcula pela equação 14:

$$VQ = COSE - COSR \quad (14)$$

VP (Valor Planejado)

#### 5.4 – CONTROLES

De acordo com Limmer (1996, p. 134) "O controle de custos é feito de maneira similar ao controle de prazos e de recursos, controlando-se os custos de mão de obra, os custos de materiais e equipamentos incorporados ao projeto...".

Os custos podem sofrer dois tipos de variações: uma que está diretamente ligada à procura e a oferta do mercado, onde a procura é maior que a oferta ocasionando o aumento do preço do empreendimento, e a outra condição acontece quando o preço dos insumos aumenta por conta da inflação.

Para se obter controle das variações de custos de uma obra é necessário um **Plano Mestre Preliminar** que é uma estimativa básica do orçamento do projeto este por sua vez se divide em dois estágios:

**Estimativa de Custo Preliminar:** neste primeiro estágio é elaborada uma estimativa preliminar baseada nas informações disponíveis na época, assim como preços de mão de obra e materiais.

**Estimativa de Custo Definitiva:** neste segundo estágio é consolidada a estimativa preliminar, atualizando os dados durante as etapas iniciais do projeto, integrando ao **Plano Mestre Definitivo**.

## 6 – APLICAÇÃO DE MÉTODOS EM UMA REDE REAL

Com intuito de maior compreensão do conteúdo do trabalho, aplicamos o método de planejamento PERT-CPM em uma obra hipotética em fase de estrutura. Detalhamos a sequência das atividades e suas precedências de forma a se alcançar um diagrama de rede confiável para a determinação do caminho crítico, caminho crítico probabilístico, desvio-padrão, variância, e probabilidade de um prazo qualquer.

**Tabela 6 – Precedência e duração das atividades do ciclo (AUTORES, 2016).**

Atividade	Descrição	Atividade precedente	Duração estimada (horas)
A	FIXAÇÃO DOS GASTALHOS	-	3,5
B	MONTAGEM DA ARMADURA DOS PILARES	-	8
C	POSICIONAMENTO DAS FORMAS DOS PILARES	A	2
D	APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE	A	0,5
E	COLOCAÇÃO DA ARMADURA DOS PILARES	B,C	1
F	FECHAMENTO DA FORMA	E	1,5
G	CIMBRAMENTO	F	4
H	PRUMAGEM DOS PILARES	F	2
I	MONTAGEM DO ASSOALHO E FORMAS DAS VIGAS	G, H	8
J	APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE EM FORMAS DE VIGAS E ASSOALHOS	I	0,5
K	MONTAGEM DA ARMADURA DAS VIGAS	E	8
L	NIVELAMENTO DO ASSOALHO	I	2,5
M	CONCRETAGEM DOS PILARES	I	4
N	COLOCAÇÃO DA ARMADURA DAS VIGAS	J, K, M	3
O	GABARITO DE ELETRICA	N	3
P	GABARITO DE HIDRAULICAS	N	1,5
Q	ARMADURA POSITIVA DA LAJE	O, P	4
R	COLOCAÇÃO DAS MANGUERAS DE ELETRICA	Q	6
S	ARMADURA NEGATIVA DA LAJE	R	3
T	CONCRETAGEM DAS VIGAS E LAJES	S	8
-	-	Total de horas	56,5

Desta forma, seu diagrama de rede será:

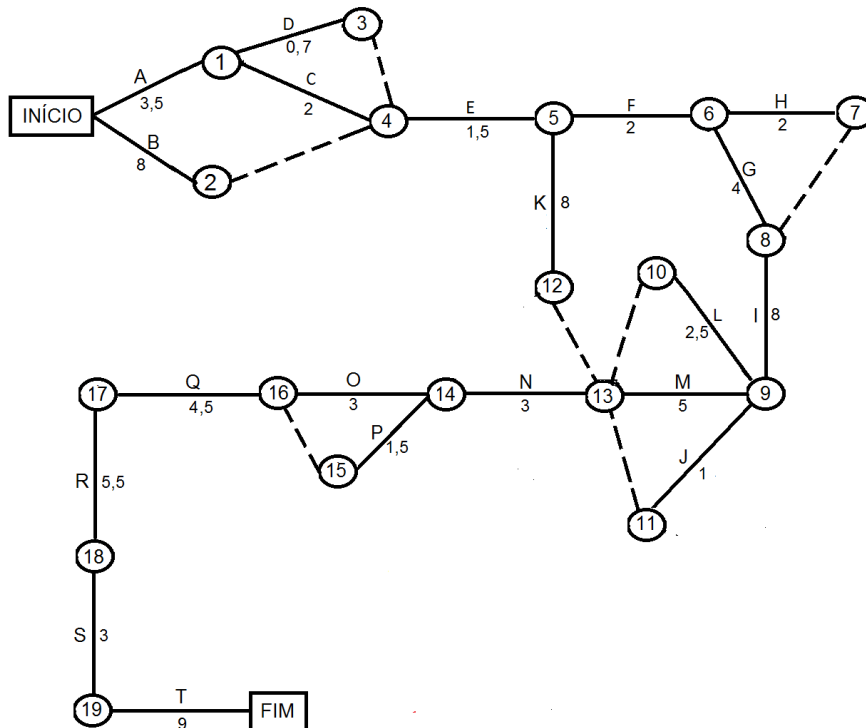


Figura 16 – Diagrama de rede com durações (AUTORES, 2016).

Assim como suas datas de cedo e tarde:

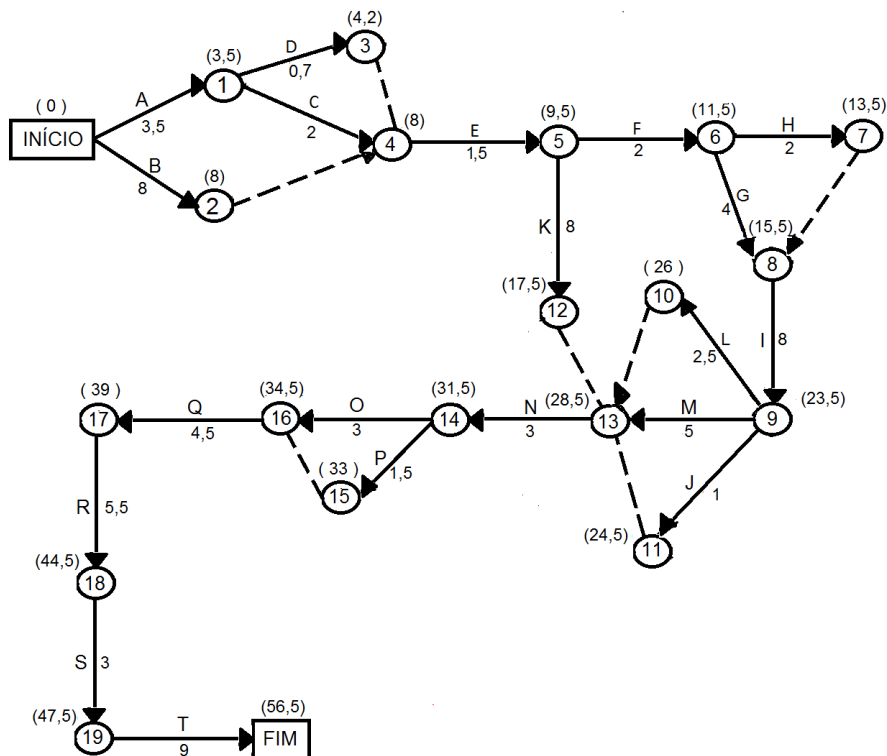


Figura 17 – Diagrama de rede com datas de cedo (AUTORES, 2016).

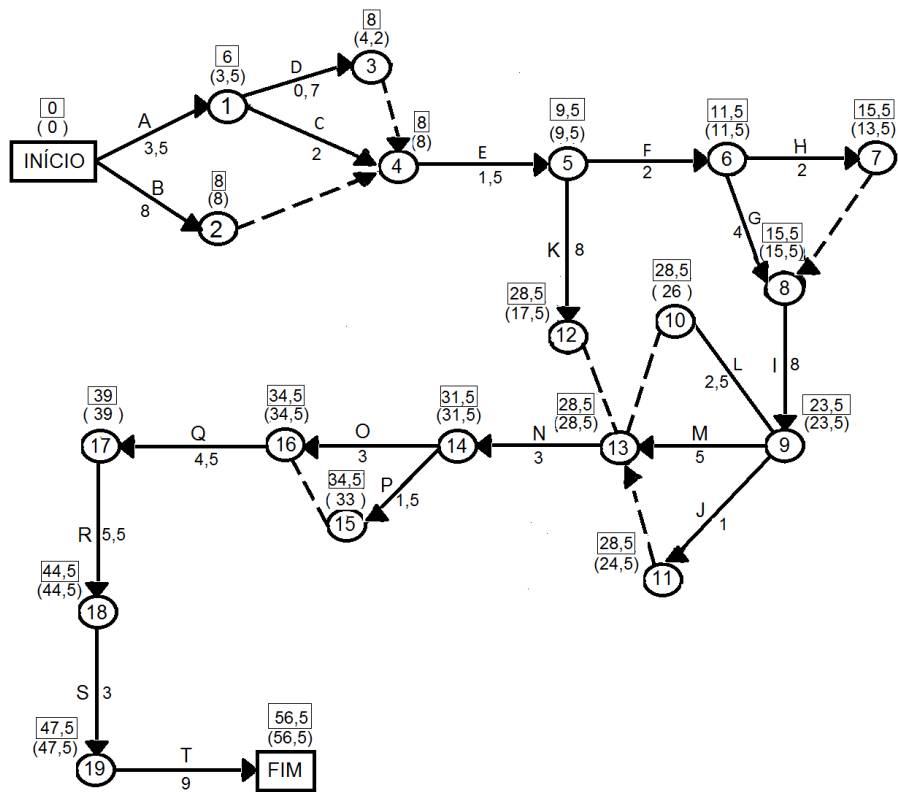


Figura 18 – Diagrama de rede com datas de tarde (AUTORES, 2016)

Com as datas de cedo, tarde e as respectivas durações das atividades, conseguimos analisar o diagrama, desenvolvendo o seu caminho crítico:

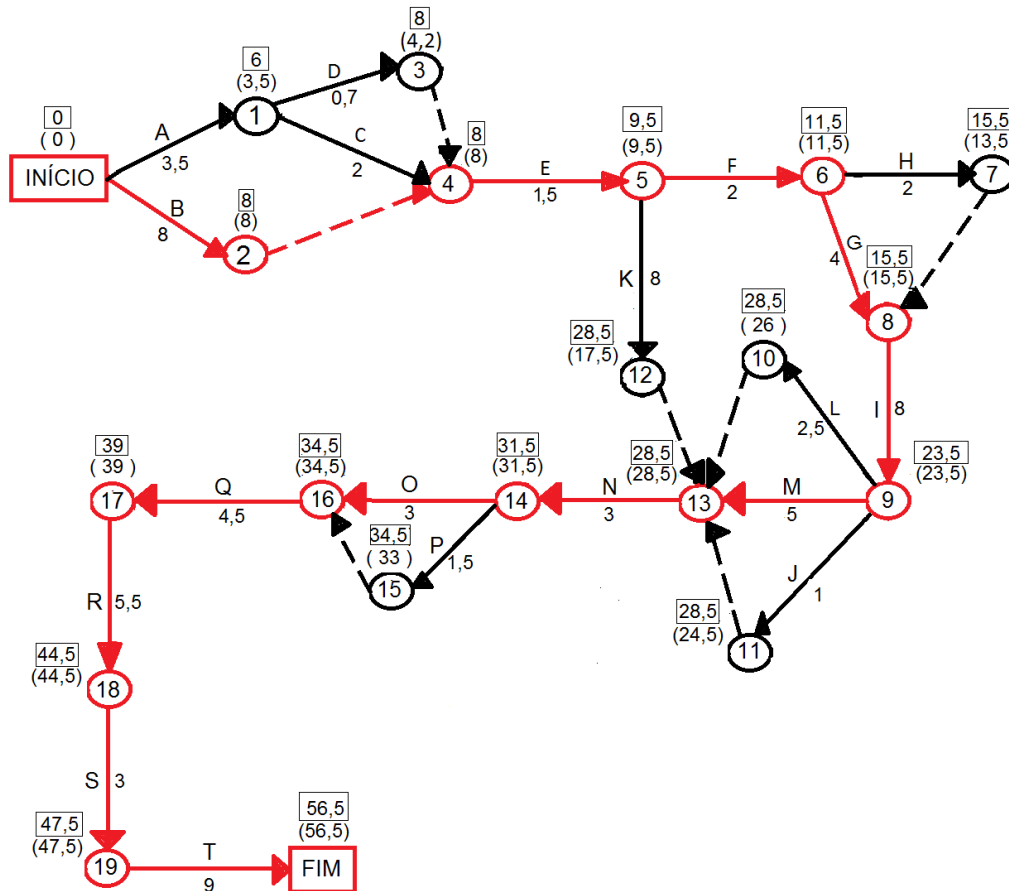


Figura 19 – Diagrama de rede com caminho crítico (AUTORES, 2016).

Tabela 7 – Precedência das atividades com caminho crítico (AUTORES, 2016)

Atividade	Descrição	Atividade precedente	Duração estimada (horas)
A	FIXAÇÃO DOS GASTALHOS	-	3,5
B	MONTAGEM DA ARMADURA DOS PILARES	-	8
C	POSICIONAMENTO DAS FORMAS DOS PILARES	A	2
D	APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE	A	0,7
E	COLOCAÇÃO DA ARMADURA DOS PILARES	B,C	1,5
F	FECHAMENTO DA FORMA	E	2
G	CIMBRAMENTO	F	4
H	PRUMAGEM DOS PILARES	F	2
I	MONTAGEM DO ASSOALHO E FORMAS DAS VIGAS	G, H	8
J	APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE EM FORMAS DE VIGAS E ASSOALHOS	I	1
K	MONTAGEM DA ARMADURA DAS VIGAS	E	8
L	NIVELAMENTO DO ASSOALHO	I	2,5
M	CONCRETAGEM DOS PILARES	I	5
N	COLOCAÇÃO DA ARMADURA DAS VIGAS	J, K, M	3
O	GABARITO DE ELETRICA	N	3
P	GABARITO DE HIDRAULICAS	N	1,5
Q	ARMADURA POSITIVA DA LAJE	O, P	4,5
R	COLOCAÇÃO DAS MANGUEIRAS DE ELETRICA	Q	5,5
S	ARMADURA NEGATIVA DA LAJE	R	3
T	CONCRETAGEM DAS VIGAS E LAJES	S	9

Exemplo de cálculo da duração esperada pela equação 15:

$$E = \frac{O+4M+P}{6} \quad (15)$$

$$E = \frac{3+4 \times 3,5+4}{6} = 3,5 \text{ horas} \quad (15)$$

Estes cálculos são feitos para todas as durações, afim de facilitar as contas realizamos todas elas no Excel:

**Tabela 8 – Cálculos das durações esperada, desvio-padrão e variância (AUTORES, 2016).**

Duração mais provável (M) (horas)	Duração otimista (O) (horas)	Duração pessimista (P) (horas)	Duração Esperada (E) (horas)	Desvio-Padrão ( $\sigma$ ) (horas)	Variância ( $\sigma^2$ ) (horas)
3,5	3	4	3,50	0,167	0,028
8	7	8,5	7,92	0,250	0,063
2	1,5	3	2,08	0,250	0,063
0,7	0,5	1	0,72	0,083	0,007
1,5	1	3	1,67	0,333	0,111
2	1,5	3	2,08	0,250	0,063
4	3,5	5	4,08	0,250	0,063
2	1,5	2,5	2,00	0,167	0,028
8	7	9	8,00	0,333	0,111
1	0,5	1,5	1,00	0,167	0,028
8	7	9	8,00	0,333	0,111
2,5	2	3	2,50	0,167	0,028
5	4	6,5	5,08	0,417	0,174
3	2,5	3,5	3,00	0,167	0,028
3	2	3,5	2,92	0,250	0,063
1,5	1	2	1,50	0,167	0,028
4,5	4	5	4,50	0,167	0,028
5,5	5	6	5,50	0,167	0,028
3	2,5	3,5	3,00	0,167	0,028
9	8	10,5	9,08	0,417	0,174
				3,167	0,931

Calculo da variância pela equação 16:

$$\sigma^2 = \left( \frac{P-O}{6} \right)^2 = \left( \frac{4-3}{6} \right)^2 = 0,028 \text{ horas} \quad (16)$$

Calculo da variância total (já contido na tabela 8) pela equação 17:

$$\sigma^2_{b-t} = \sigma^2_{b-e} + \sigma^2_{e-f} + \sigma^2_{f-g} + \sigma^2_{g-i} + \sigma^2_{i-m} + \sigma^2_{m-n} + \sigma^2_{n-o} + \sigma^2_{o-q} + \sigma^2_{q-r} + \sigma^2_{r-s} + \sigma^2_{s-t} \quad (17)$$

$$\sigma^2_{b-t} = 0,063 + 0,111 + 0,063 + 0,063 + 0,111 + 0,174 + 0,028 + 0,063 + 0,028 + 0,028 + 0,028 + 0,174 = 0,931 \text{ horas} \quad (17)$$

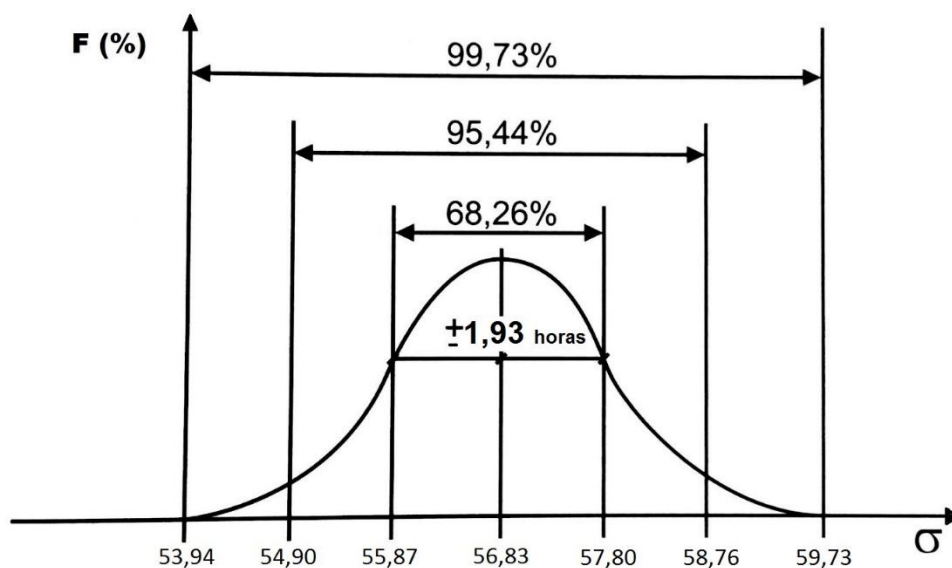
Calculo do desvio-padrão total pela equação 18:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2_{b-t}} = \sqrt{0,931} = 0,965 \text{ horas} \quad (18)$$

Representado na tabela 9 e na figura 20, o seis desvios-padrão característicos de uma distribuição normal.

**Tabela 9 – Desvios-Padrão (AUTORES, 2016)**

	Somando $\sigma$	Subtraindo $\sigma$
Tempo total de projeto (T)	56,83	56,83
1 x Desvio - padrão	57,80	55,87
2 x Desvio - padrão	58,76	54,90
3 x Desvio - padrão	59,73	53,94



**Figura 20 – Desvios-padrão característicos (AUTORES, 2016).**

No último exemplo visto, calculamos um prazo total de 56,83 horas. Utilizando o fator de probabilidade K, qual será a probabilidade de o projeto terminar:

- Em 57,5 horas;
- Em 54 horas;
- Com 100% de probabilidade de ser cumprido;
- Com 0% de probabilidade de ser cumprido.

**Tabela 10 – Fator de Probabilidade para exercício (K) (MATTOS, 2010)**

K	Probabilidade (%)	K	Probabilidade (%)
< -3,0	0,00	0,1	53,98
-3,0	0,13	0,2	57,93
-2,9	0,19	0,3	61,79
-2,8	0,26	0,4	65,54
-2,7	0,35	0,5	69,15
-2,6	0,47	0,6	72,57
-2,5	0,62	0,7	75,80
-2,4	0,82	0,8	78,81
-2,3	1,07	0,9	81,59
-2,2	1,39	1,0	84,13
-2,1	1,79	1,1	86,43
-2,0	2,28	1,2	88,49
-1,9	2,87	1,3	90,32
-1,8	3,59	1,4	91,92
-1,7	4,46	1,5	93,32
-1,6	5,48	1,6	94,52
-1,5	6,68	1,7	95,54
-1,4	8,08	1,8	96,41
-1,3	9,68	1,9	97,13
-1,2	11,51	2,0	97,72
-1,1	13,57	2,1	98,21
-1,0	15,87	2,2	98,61
-0,9	18,41	2,3	98,93
-0,8	21,19	2,4	99,18
-0,7	24,20	2,5	99,38
-0,6	27,43	2,6	99,53
-0,5	30,85	2,7	99,65
-0,4	34,46	2,8	99,74
-0,3	38,21	2,9	99,81
-0,2	42,07	3,0	99,87
-0,1	46,02	> 3,0	100,00
0,0	50,00		

### Resolução

$$a) K = \frac{x-T}{\sigma} = \frac{57,5-56,83}{0,965} = 0,69 \cong 0,7 \text{ que representa } 75,80\% \text{ de chance.}$$

$$b) K = \frac{x-T}{\sigma} = \frac{54-56,83}{0,965} = -2,93 \cong -2,9 \text{ que representa } 0,19\% \text{ de chance.}$$

$$c) x = \sigma \times k + T = 0,965 \times 3,0 + 56,83 = 59,73 \text{ horas}$$

$$d) x = \sigma \times k + T = 0,965 \times (-3,0) + 56,83 = 53,94 \text{ horas}$$

## 7 – USO DO PERT/CPM EM COMPUTADORES

Desenvolvido na década de 60, o PERT/CPM foi uma ferramenta altamente importante na área de planejamento e gestão de empreendimentos, porém com o passar do tempo e o avanço tecnológico dos métodos utilizados foram surgindo novas necessidades, como de produções cada vez mais aceleradas, assim sendo, com um período menor para o planejador, efetivamente planejar, foi criado um software capaz de otimizar esse tempo.

Assim nasce o MS-Project, criado pela Microsoft e tendo a primeira versão em 1985, é um software de gerenciamento de projetos, podendo ser utilizado para diversas utilidades, entre elas planejar, programar e representar graficamente as informações sobre projetos. Baseando-se na metodologia de PERT/CPM com o auxílio de gráficos de Gantt, o programa consegue recalcular rapidamente novas tarefas, tarefas obsoletas e datas intermediárias, além disso, checar a disponibilidade irregular de um recurso no estoque, assim permitindo ver como essas mudanças em uma parte do projeto poderiam afetar o seu empreendimento como um todo.

Porém o software é uma ferramenta meramente de controle. Vale lembrar que todas as informações alocadas na central de dados do programa são diretamente coletadas e inseridas pelo usuário, sendo obtidas pelos métodos detalhados no presente trabalho. Abaixo alguns passos para o desenvolvimento do cronograma:

- Desenvolver um termo de abertura
- Identificar Stakeholders (público estratégico)
- Desenvolver o plano de gerenciamento do Projeto
- Coletar requisitos
- Definir o escopo
- Criar a EAP (estrutura analítica do projeto)
- **Definir as atividades**
- Estimar os custos
- Planejar a qualidade
- Desenvolver plano de recursos humanos
- Planejar as comunicações
- Planejar gerenciamento de riscos
- Planejar aquisições
- **Sequenciar as atividades**
- Identificar os riscos

- **Estimar os recursos das atividades**
- Realizar análise qualitativa dos riscos
- **Estimar durações das atividades**
- Realizar análise qualitativa dos riscos
- Planejar respostas aos possíveis riscos
- **DESENVOLVER O CRONOGRAMA**

Com as ferramentas apresentadas pelo software o programador consegue desenvolver todos esses passos, enxergando com maior clareza os possíveis erros no desenvolvimento do cronograma, logo abaixo teremos um exemplo de rede criada no MS-Project. Para gerar essa rede se seguiram os seguintes passos, primeiramente para as atividades globais, especificou-se a data de início do projeto, nessa fase não se definiu a data final do projeto, pois o próprio software, programa e calcula a data mais cedo para o término do projeto. O segundo passo foi criar e organizar a lista de tarefas na folha de Diagrama de Gantt. Em seguida foram inseridos os tempos de duração de cada tarefa. Depois de criada a lista de tarefas com a duração de cada uma, estabeleceram as relações de precedência entre tarefas (BARRA et al., 2013). Ao finalizar esse procedimento pode-se visualizar a tabela 11, pronta para a montagem da rede PERT/CPM, na figura 21 o diagrama de rede constituído por essa tabela e na figura 22 o cronograma construído pelo MS-Project:

Tabela 11 – Montagem da rede PERT/CPM de uma casa (SALIM, 2013).

Código	Descrição da Atividade	Duração(semána)
A	Preparo do local	2
B	Fundações	4
C	Alvenaria( paredes, muros, rebocos, etc)	4
D	Esgotos	1
E	Telhado(laje do teto, estrutura, caixa d'água,telhas, etc)	5
F	Piso(compactação, laje, etc.)	1
G	Instalação Elétrica	3
H	Instalação Hidráulica	4
I	Carpintaria( janelas, portas, tacos, etc.)	6
J	Pintura Interna	8
K	Pintura Externa	2
L	Limpeza Final(acabamento, jardinagem, etc.)	1

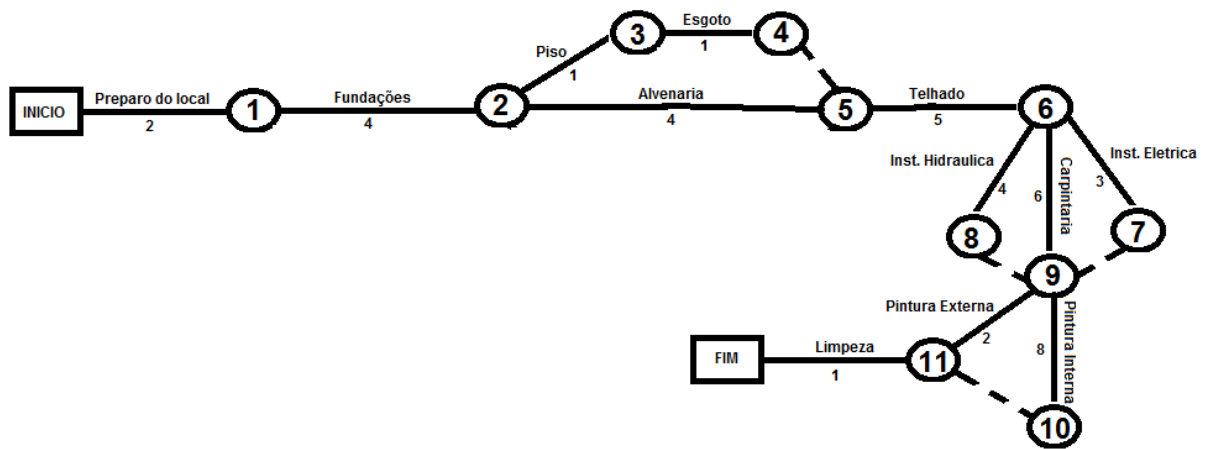


Figura 21 – Diagrama de rede de uma casa (SALIM, 2013).

## Montagem no MS Project

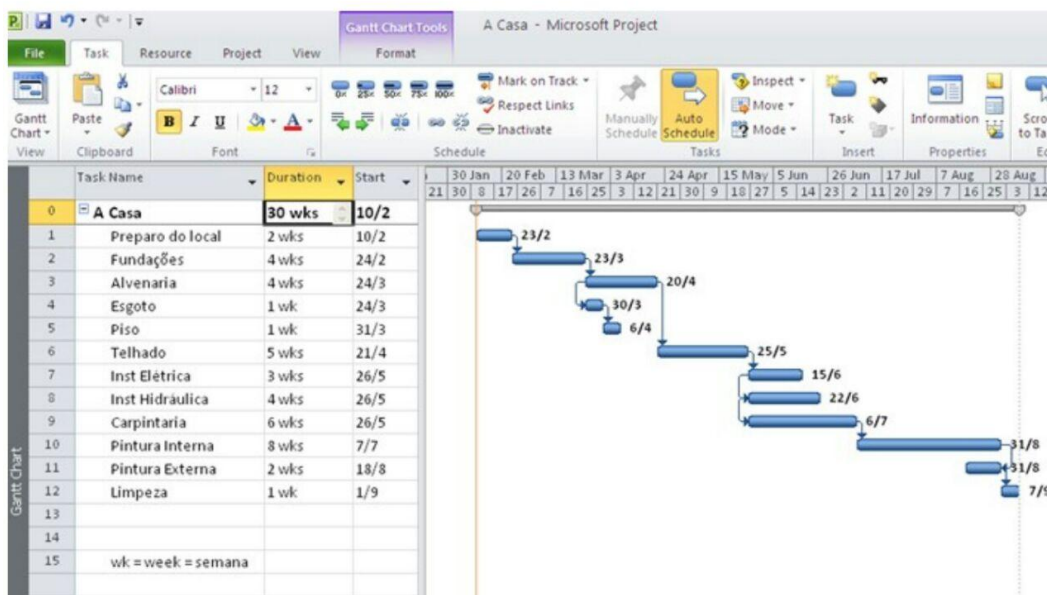


Figura 22 – Montagem no MS Project (SALIM, 2013)

## **8 – ANÁLISE E CONCLUSÃO**

### **8.1 – FILOSOFIA DO ÊXITO DO PLANO E DO CONTROLE**

Conforme verificado na pesquisa, o método PERT/CPM apesar de ter sido criado em 1957, permite indicar as relações lógicas de interdependência entre inúmeras atividades do programa e determinar o caminho crítico, isto é, a sequência de atividades que se sofrer atraso em alguma de suas componentes, vai impactar a entrega do empreendimento. Além disso, os cálculos numéricos permitem saber a data mínima de início e data limite de realização em que cada atividade que será executada, assim como a folga de que elas dispõem para que haja tempo para o planejamento antecipado de possíveis contratempos que possam causar atraso nas atividades. Desta forma, concluímos que o método consegue estabelecer satisfatoriamente, diagramas de redes e cronogramas que associados, fornecem uma ferramenta de planejamento de fácil acesso e visualização para o uso do gestor de obra.

A pesquisa, acrescentou ao grupo diversos conhecimentos relacionados a criação de diagrama de redes e montagem de cronogramas para controle de atividades, também poderá ser utilizado como material complementar da disciplina de planejamento de obras da Universidade Santa Cecília, de forma que, os alunos da faculdade de engenharia civil obtenham o máximo de conhecimento possível sobre o método de gerenciamento de obras PERT/CPM, tornando-se aptos assim como os integrantes do grupo na sua aplicação em futuros empreendimentos.

## 9 – REFÊRENCIAS BIBLIOGRAFICAS

HIRSCHHFIELD, H. **Planejamento com PERT/CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins.** 6ª ed. São Paulo: Atlas, 1978. 381 p.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras.** 1ª ed. 7ª tiragem. São Paulo: Pini, 2014. 420 p.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras.** 1ªed. Rio de Janeiro: LTC, Livros técnicos e científicos editora, 1997. 225p.

STONNER, R. **O Conceito de Folgas no Planejamento.** (2013), disponível em: <http://blogtek.com.br/o-conceito-de-folgas-no-planejamento/>, acesso em: 11 de abril de 2016.

BARRA, Renata et al. **Elaboração de rede PERT/CPM na industria da construção civil através da utilização do software MS-Project: Um estudo de caso.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, XXXIII. 2013, Salvador, BA. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_tn\\_stp\\_177\\_008\\_22484.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_stp_177_008_22484.pdf), acesso em: 25 de abril de 2016.

SALIM, Helene K. **Administrando projetos com MS Project 2010 – Unidade I.** (2013), disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/338311/>, acesso em: 11 de maio de 2016.