

# Determinação da duração de projetos de produtos utilizando PERT/CPM: um estudo em empresa Engineer to Order (ETO)

Alexandre Canova (DEPROT/UFRGS)

Diego de Castro Fettermann (DCET/UDESC)

Ângela de Moura Ferreira Danilevicz (PPGEP/UFRGS)

## Resumo

*As pequenas empresas carecem de técnicas de gestão efetivas, com destaque para a falta de métodos estruturados para controle de projetos. O presente artigo tem por objetivo a determinação da duração de projetos dos produtos em uma empresa com estratégia ETO utilizando o método PERT/CPM. Por meio de um estudo de caso apresenta como resultado o estabelecimento de uma rede de atividades para determinação da duração de projetos. Também entre os resultados são apresentados previsões probabilísticas para os prazos de execução das atividades, além das variabilidades associadas a estas atividades.*

*Palavras chave: Gestão de projetos, PERT/CPM, Gerenciamento do tempo.*

## 1 Introdução

A necessidade no atendimento de prazos de entrega consiste em um importante questão para o gerenciamento da produção (SLACK et al., 2002). O impacto do gerenciamento de prazo de entrega de produtos pode ser sentido em diversas áreas da organização, sendo um dos principais dados para as decisões relacionadas ao planejamento e controle da produção (FERNANDES; GODINHO, 2010).

Entre as diversas estratégias de fabricação possíveis, a dificuldade em se estabelecer os prazos de produção tende a ser mais crítica em empresas que executam projetos sob encomenda. As empresas com este tipo de estratégia, também denominada *Engineer to Order* (ETO), têm por característica possuir pouco conhecimento sobre as especificações do pedido e da manufatura até o desenvolvimento das especificações de projeto (BERTRAND; MUSTSLAG, 1993).

As empresas que atuam com essa estratégia realizam uma customização total no produto, desenvolvendo projetos que tendem a ser complexos e que resultam em produtos com alto valor agregado (RAHMAN, et al., 2003). Este tipo de empresa costumam atuar em mercados restritos e atender a requisitos de produto específicos, sendo que seus clientes tendem a exigir prazos de entrega reduzidos e maior confiabilidade dos produtos (HICKS et al., 2001).

Para este tipo de empresa, em razão da complexidade do produto, das flutuações de demanda e da falta de especificações do projeto, as decisões relacionadas à capacidade, preço e prazo de entrega são tomadas sob alto grau de incerteza, dificultando a organização das atividades de planejamento da produção (BERTRAND; MUSTSLAG, 1993). Essas dificuldades são agravadas quando se trata de uma organização de pequeno porte que utiliza a estratégia de ETO. As micros, pequenas e médias empresas (MPMEs) costumam enfrentar diversas dificuldades em razão do crescimento desordenado e pela falta de planejamento. Como resultado, o setor produtivo tende a possuir diversos problemas, que incluem estudos de capacidade, dimensionamento das instalações e atraso da entrega para os clientes (MEGLIORINE; GUERREIRO, 2004).

Nessa perspectiva, são frequentes os casos de dificuldade para o dimensionamento do prazo de entrega de produtos nas empresas de pequeno e médio porte que utilizam a estratégia ETO. Essa dificuldade é resultante da diversidade e da peculiaridade entre os pedidos/projetos de cada cliente. Como resultado, a empresa costuma registrar um baixo nível de serviço de entrega de produtos e frequentes atrasos, resultando em perda de confiança dos clientes e prejuízos a imagem da empresa.

Uma alternativa para dimensionar o prazo de entrega para produtos consiste na aplicação da metodologia PERT/CPM (CARVALHO; RABECHINI JR, 2008; TRIETSCH, D.; BAKER, K., 2012). A Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (Program Evaluation and Review Technique – PERT) e o Método de Encaminhamento Crítico (Critical Path Method - CPM) consistem em uma das técnicas mais utilizadas para planejar, seqüenciar e acompanhar as atividades (CARVALHO; RABECHINI JR, 2008; ).

A partir disso, o objetivo desse artigo é determinar a duração de projetos dos produtos em uma empresa com estratégia ETO com a utilização do método PERT/CPM. Como resultado espera-se uma melhoria nos processos operacionais e gerenciais associados à definição de prazos de entrega. Como o objetivo deste trabalho não incorpora estudos de capacidade para a execução dos projetos, os prazos de duração de projetos apresentados nos resultados ainda devem ser analisados de acordo com os recursos disponíveis na empresa para se atender os prazos de entrega para os clientes. Mesmo assim, os resultados esperados tendem a contribuir para estimar com maior precisão os prazos de entrega dos produtos.

O presente artigo desdobra-se em cinco seções, sendo que a primeira contextualiza o problema de pesquisa. Na segunda seção é apresentado o referencial teórico utilizado no desenvolvimento do trabalho. A seguir, na terceira seção é abordada a metodologia de pesquisa com os procedimentos, cenários de aplicação, classificação e método de trabalho. Na quarta seção são expostos os resultados da aplicação do PERT/CPM no caso em estudo, sendo que as considerações finais são apresentadas na quinta e última seção.

## 2 Revisão de literatura

Nesta seção é apresentado o referencial teórico para a condução do trabalho, o qual contempla: cenário das pequenas empresas no Brasil, estratégias de produção e o emprego do PERT/CPM para estimar o tempo de entrega dos produtos.

### 2.1 Perspectivas das micro e pequenas (MPE's) no Brasil

As pequenas empresas no Brasil totalizam 99% do volume de pessoas jurídicas e empregam 50% da mão de obra (CAGED, 2011). Essa categoria de empresa costuma ter dificuldades gerenciais, muito em razão das próprias características que as definem como pequenas: não possuir uma administração profissional, possuir um reduzido quadro de pessoal, não ocupar posição dominante em seu setor, não dispor de elevados recursos econômicos, ter reduzido valor de capital e de faturamento anual em relação ao setor econômico no qual opera e ser juridicamente independente de outras grandes empresas (JACYNTHO, 2000). Diante dessas dificuldades, cerca de 70% das empresas abertas no país encerram suas atividades em até 24 meses. Entre as razões para essa dificuldade estão a carência de conhecimento gerencial, falta de planejamento, máquinas obsoletas e dificuldade de comercialização de seus produtos em novos mercados (LEVISTKY, 1996). Essas dificuldades prejudicam o não cumprimento dos prazos de entrega, como o caso da empresa em estudo.

### 2.2 Estratégias de Produção

Diversas estratégias de manufatura são adotadas em diferentes empresas para se atingir a satisfação e as necessidades de consumidores específicos em segmentos de mercado específicos. Uma das alternativas de se identificar as estratégias de manufatura é compreendida de acordo com o grau de postergação da inclusão do cliente durante o ciclo de projeto, manufatura e expedição do produto (ULRICH; TUNG, 1991). Seguindo esta lógica, a empresa pode organizar sua produção de acordo com uma estimativa de vendas, ou previsão de demanda, sem incorporar o cliente nas etapas de produção, caracterizando uma estratégia MTS (*Make to Stock*). Entretanto, a participação do cliente pode acontecer dentro deste processo, como na especificação da montagem do produto, caracterizando uma estratégia ATO (*Assemble to Order*). No caso de uma maior antecipação da participação do cliente, a produção do produto acontece somente após o pedido, caracterizando uma MTO (*Make to Order*). Em casos em que a empresa desenvolve um produto específico para atender a demanda do cliente, ou seja, este cliente participa desde o início do processo, determinando requisito do produto a ser desenvolvido temos uma estratégia *Engineer to Order* (ETO), como no caso em estudo (FETTERMANN; ECHEVESTE, 2011) (FIGURA 01). Na Engenharia sob Encomenda ou *Engineer to Order* (ETO), o projeto ou produto é confeccionado com base nas especificações do cliente, exigindo sua participação na produção e resultando em produtos ou projetos altamente customizados.

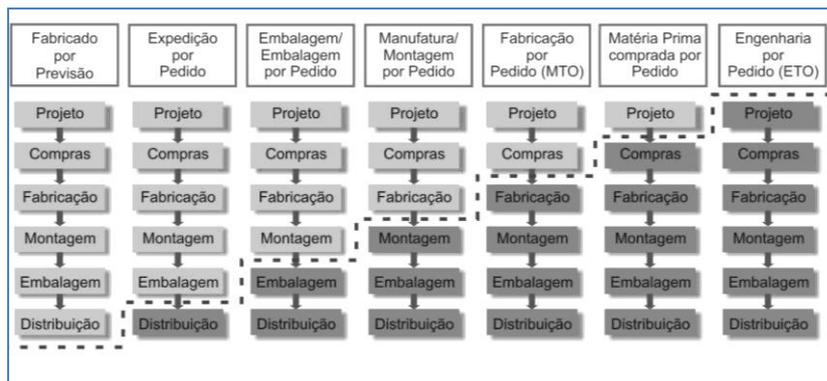


Figura 01. Estratégias de produção

Fonte: Fettermann, D.C.; Echeveste, M.E.S (2011)

### 2.3 PERT/CPM

O Program Evaluation and Review Technique (PERT) foi originado na marinha Americana para o gerenciamento de projetos de defesa (TUBINO, 2000). O Critical Path Method (CPM) foi desenvolvido pela DUPONT e UNIVAC como uma técnica de programação de construção, manutenção e desativação de indústrias químicas (TUBINO, 2000). A diferença entre as duas técnicas reside no fato de o PERT utilizar tempos probabilísticos, para estimar a duração das atividades, enquanto que o CPM recomenda a utilização de tempos determinísticos para a duração das atividades (HIRSCHFELD, 1987). Essas técnicas são complementares, sendo posteriormente unificadas e consideradas como uma ferramenta única para a concepção e gerenciamento de projetos, sendo considerada uma das sete novas ferramentas da qualidade e produtividade, a partir da década de 90 (TUBINO, 2000).

A rede PERT/CPM representa uma sequência lógica do planejamento com as interdependências das tarefas, a essa é posteriormente associada às durações de cada tarefa (HIRSCHFELD, 1987). Ainda, segundo o autor, para se estabelecer a rede é necessário conhecer: as atividades (listas de tarefas a serem realizadas), a ordem das atividades (sequenciamento) e a sua duração.

Existem sete princípios para elaboração de uma rede PERT/CPM (HIRSCHFELD, 1987), são eles: (i) Determinar a relação e a duração das atividades; (ii) verificar atividades que podem ser executadas em paralelo; (iii) lembrar que atividades consomem tempo e geram custos, eventos não; (iv) para um evento ser atingido todas as atividades que a ele chegam devem ser concluídas; (v) uma atividade somente terá início se o evento inicial for atingido; (vi) entre dois eventos existe apenas uma atividade e, (vii) tudo que pode atrasar um projeto e ser previsto é atividade.

Após a determinação das três etapas iniciais para elaboração de redes de planejamento, segue-se para a determinação do caminho crítico da rede. Esse último é definido como à soma dos tempos das atividades, os quais serão considerados no caminho mais desfavorável (HIRSCHFELD, 1987). Para assimilação do caminho crítico, deve ser estimada a previsão otimista e pessimista juntamente com o tempo mais provável de duração dos eventos. Para as atividades não críticas, é calculada a tolerância ou tempo tarde do evento, que se excedido comprometem o tempo final de execução. Apesar de sua relevância, o PERT/CPM ainda é pouco utilizado em ambientes fabris devido ao fato de se ter inúmeros projetos concorrendo por recursos escassos (máquinas, equipamentos, soldadores, retificas, etc.), o que difere de sua concepção original de aplicação a um único grande projeto.

## 3. Procedimentos Metodológicos

Nesta seção é apresentado o detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados para a realização do presente artigo, dividindo-se em descrição do cenário, método de pesquisa e método de trabalho.

### 3.1 Descrição do Cenário

Consiste em uma empresa de pequeno porte, com sede na cidade de Cachoeirinha-RS. Iniciou suas atividades em 2002 com o objetivo de fornecer soluções completas em segurança coletiva para máquinas e processos e automação industrial. Possui em seu portfólio de fornecimento: o levantamento e a análise de riscos das máquinas e processos, projetos de adequação de segurança, fornecimento de produtos relacionados (cortinas de luz, chaves magnéticas, etc.), relatórios detalhados, laudo técnico com ART (Anotação de Responsabilidade

Técnica), carenagens de enclausuramento mecânico, montagem elétrica, mecânica, pneumática e hidráulica e calços de segurança. Desenvolve e executa projetos de adequação de segurança em empresas dos mais variados setores (alimentício a siderurgia pesada).

Por atuar essencialmente com a estratégia ETO, o projeto se inicia no levantamento e análise de riscos juntos aos clientes, mapeando-se os pontos de risco dos equipamentos utilizados em seus processos e propondo soluções para sua completa eliminação. Essa proposta vem seguida do desenvolvimento do projeto mecânico de adequação (proativo) onde são desenvolvidas proteções físicas (portões, grades, chapas, poka-yokes, etc.) que excluem os acessos a áreas de risco. No projeto elétrico (reativo) é desenvolvido sistemas com controladores e mecanismos (botões de duplo acionamento, cortina de luz, chave magnética e mecânica, reles controladores, etc.), que desligam os equipamentos quando áreas de risco forem acessadas. Continuando, vem a montagem final para o cliente com o respectivo treinamento dos operadores sobre os modos de operação dos sistemas instalados bem como a entrega final do documento que certifica o equipamento como seguro.

Em fase de crescimento, a empresa encontra dificuldades na parte operacional, sendo que não existe uma divisão e organização do trabalho dentro dos setores de produção o que dificulta a determinação de prazos de entrega. Tanto no setor elétrico como no mecânico, a desorganização é evidenciada pela falta de transmissão da informação, onde a retenção da mesma culmina com atrasos e até execução errônea de atividades básicas. Desinformações quanto à entrega de matéria prima e suprimentos, não há procedimentos documentados ou mesmo que de conhecimento genérico, carece de dado para medição e análise desde a área de suprimentos (compra) até a produção e entrega final, controle de estoque é realizado eventualmente, lead time de processos não são conhecidos em sua plenitude, ou seja, carece de estrutura formal de gerenciamento e controle.

### 3.2 Método de Pesquisa

Os procedimentos técnicos utilizados nesse trabalho foram baseados nas recomendações para um estudo de caso (GIL, 2008), visto que este método procura estruturar um estudo profundo e exaustivo das atividades do problema em estudo (GIL, 2008). No caso deste trabalho, mais especificamente, os problemas que afetam o lead time dos projetos visando o seu conhecimento amplo e detalhado.

### 3.3 Método Trabalho

O método para a realização deste trabalho divide-se em seis etapas representadas na Figura 3 e descritas a seguir.

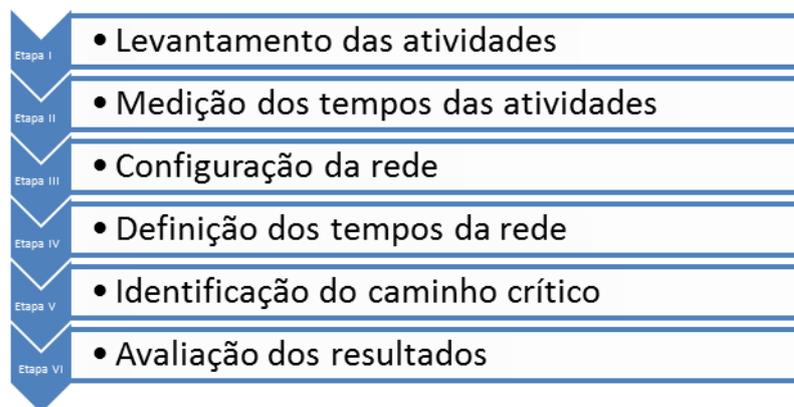


Figura 3. Sistemática para elaboração de uma rede

Inicialmente, foi realizado o levantamento das atividades, e dos seus tempos de duração, os quais influenciam o lead time de entrega dos projetos. Para tal, foi realizado o acompanhamento dentro dos setores e entre estes, por meio de entrevistas com os funcionários de cada setor, totalizando 30 entrevistas. As entrevistas seguiram um roteiro, que procura identificar as atividades executadas no processo, as previsões de tempo otimistas, mais prováveis e pessimistas para a execução das atividades, e as relações de dependência entre as atividades.

Com base nos dados obtidos na etapa anterior, deu-se início à etapa III - configuração da rede. Nela foi estabelecido o sequenciamento das atividades observando-se quais poderiam vir a serem realizadas ao mesmo tempo e, principalmente, as relações de precedência e subsequência e a ordem de execução.

Na etapa IV, foram definidos os tempos da rede, por meio da classificação desses como: (a) otimista, (b) mais provável e (c) pessimista para cada atividade. Na etapa V foi identificado o caminho crítico através dos valores dos diferentes tempos para em seguida serem somados os tempos e as variáveis probabilísticas desse caminho. Posto isso, foi realizada, na etapa VI, uma avaliação dos resultados da etapa anterior. A avaliação da possibilidade de implementação ocorre juntamente com os setores envolvidos. Se aprovados os tempos, o processo é padronizado e gerado um procedimento operacional. Em caso contrário, retorna-se à etapa IV para nova definição de tempos.

#### 4. Método para a determinação do tempo de projeto

Nessa seção serão apresentados os resultados da aplicação dos procedimentos metodológicos propostos anteriormente sem levar em consideração as restrições de capacidades.

##### 4.1 Levantamento das Atividades

As atividades que influenciam o *lead time* dos projetos e, portanto, os prazos de entrega ao cliente, são: confecção, revisão, cotação/compra, terceirização, corte do aço, fabricação, acabamento, pré-montagem, limpeza/pintura, secagem, embalagem e montagem final no cliente (FIGURA 4).

Atividade	Descrição	Setor	Resultado
1-Confeção	Visita clientes, dimensionamentos, desenhos em <i>Solid Works</i> <sup>®</sup>	Engenharia	Projeto do produto
2-Revisão	Revisar os projetos	Engenharia	Projeto final
3-Cotação/Entrega	Orçar materiais e efetuar a compra	Suprimentos	Matéria prima/insumos
4-Terceirização	Cotações e período de entrega	Suprimentos	Confecção peças terceiros
5-Corte do aço	Corte barras em dimensões de projeto	Produção	MP para montagem
6-Fabricação	Montagem quadros/colunas, furações	Produção	Estruturas físicas
7-Acabamento	Nivelar peças, retirar pontos solda	Produção	Peças alinhadas
8-Pré-montagem	Montagem/teste estrutura final	Produção	Estrutura aprovada
9-Limpeza/pintura	Retirar impurezas das peças (óleos)	Pintura	Peças limpas/pintura
10-Secagem	Período para ancoragem da tinta	Pintura	Projeto pronto
11-Embalagem	Envolver peças em plástico	Pintura	Projeto pronto envio cliente
12-Montagem final	Montar projeto no cliente	Montagem	Projeto entregue

Figura 4. Atividades que influenciam no lead time de processo da empresa

Devido à diferença nas características de cada projeto, principalmente em número de peças, se fez necessária à categorização dos projetos em termos de dificuldade de execução sendo: difíceis os projetos com mais de 25 peças, normais com número de peças entre quinze e vinte e cinco e fácil aqueles com menos de quinze peças, conforme Figura 5. Essa influência foi percebida na comparação de projetos similares para um mesmo cliente onde, o tempo das atividades era alterado, na medida em que ultrapassava o número de peças dos limites estabelecidos observados. Dessa forma, se tornou necessária à mensuração de três tempos de duração para cada atividade na etapa seguinte, a de apropriação.

Categoria	Tipo do projeto	Peculiaridades
Difícil	Projetos grandes	Nº Peças >25
Normal	Projetos de médio porte	15=<Nº Peças <=25
Fácil	Projetos pequenos	Nº Peças <15

Figura 5. Categorização dos projetos

##### 4.2 Apropriação dos Tempos

Para essa etapa, foi conveniente utilizar a unidade de tempo em dias, sendo que, um dia é equivalente ao número de horas trabalhadas na empresa, no caso, nove horas. A estimativa dos tempos foi feita com base nas entrevistas e experiência dos seus respectivos executores. Para cada atividade, foram tabulados os tempos de duração de acordo com a categoria de projeto, conforme Figura 6.

Atividades	Fácil	Normal	Difícil
1-Confeção do projeto	1	3	6
2-Revisão	0,1	0,2	0,3
3-Cotação/Entrega	1	1	3
4-Terceirização	1	2	3
5-Corte do aço	0,5	1,5	2
6-Fabricação	1,5	3	7
7-Acabamento	0,5	1,5	2
8-Pré-montagem	0,2	0,5	1,5

9-Limpeza/pintura	0,5	1	2
10-Secagem	2	2	2
11-Embalagem	0,5	0,5	0,5
12-Montagem final	1	3	5

Figura 6. Tempos por atividade em dias

### 4.3 Configurações da Rede

Através dos levantamentos feitos e das relações de sequenciamento observadas foi possível montar a rede. Essa foi elaborada primeiramente relacionando cada atividade a uma letra para, em seguida, ser numerado os eventos que marcam o início e fim de cada atividade (Figura 7).

	Atividades	Fácil (dias)	Normal (dias)	Difícil (dias)	Evento
<b>A</b>	1-Confeção	1	3	6	1--2
<b>B</b>	2-Revisão	0,1	0,2	0,3	2--3
<b>C</b>	3-Cotação/Entrega	1	1	3	3--4
<b>D</b>	4-Terceirização	1	2	3	4--5
<b>E</b>	5-Corte do aço	0,5	1,5	2	4--6
<b>F</b>	6-Fabricação	1,5	3	7	6--7
<b>G</b>	7-Acabamento	0,5	1,5	2	7--8
<b>H</b>	8-Pré-montagem	0,2	0,5	1,5	8--9
<b>I</b>	9-Limpeza/pintura	0,5	1	2	9--10
<b>J</b>	10-Secagem	2	2	2	10--11
<b>L</b>	11-Embalagem	0,5	0,5	0,5	11--12
<b>M</b>	12-Montagem final	1	3	5	12--13

Figura 7- Atividades x Eventos

Por essa, observa-se, por exemplo, que a atividade de Confeção foi associada à letra A e seu evento inicial e final são os números um e dois respectivamente. Assim segue-se para as demais atividades de projeto. Seguindo-se esse modelo, estabeleceu-se a rede conforme observado abaixo na Figura 8. Para a atividade D, foi atribuída uma atividade “fantasma” D’, assim denominada, pois não consome nenhum tipo de recurso ou tempo, servindo apenas para ligar o evento cinco a seis.

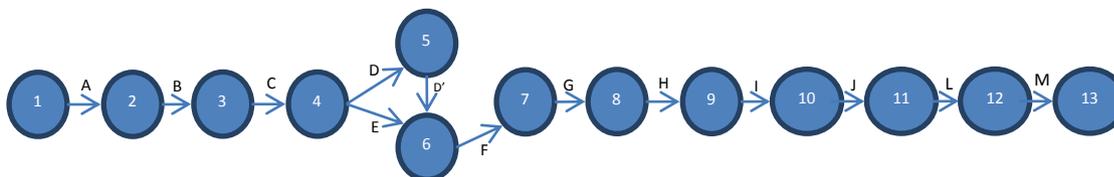


Figura 8. Rede de atividades

Seguindo, foi observado que todos os projetos seguem por uma única rede de atividades que devem ser monitoradas o tempo todo para garantir os prazos de entrega. O que definirá sua criticidade ou não serão os tempos a serem calculados na etapa 4.4 e a variabilidade resultante.

### 4.4 Tempos Otimista (a), Provável (b) e Pessimista(c)

Apesar de se ter uma estimativa das durações das atividades, foi necessária a incorporação das incertezas resultantes de fatores impossíveis de serem controlados, como: ausência de pessoas (faltas), intempéries climáticas, atraso na entrega dos materiais, etc. Esses fatores podem adiantar ou atrasar a entrega dos projetos. Para isso foram utilizadas as estimativas, três no total, probabilísticas da metodologia PERT associadas a uma distribuição Beta, onde cada atividade pode ser tratada com uma variável aleatória. Essa distribuição é a mais adequada para aplicação do método PERT/CPM (HIRSCHFELD, 1987). Estimou-se então, além do tempo apresentando, e agora definido como o tempo provável “b” de execução, o tempo otimista “a”, que ocorre quando todas as condições são favoráveis à execução da atividade (HIRSCHFELD, 1987), bem como o tempo pessimista “c”, quando se imagina adversidades na execução. Esses tempos foram estimados nas entrevistas, através de questionários sobre o tempo máximo e mínimo resultante de influência de fatores não controláveis. Essa estimativa foi para cada atividade e dentro da classificação de dificuldades conforme Figura 9.

	Atividades	Fácil			Normal			Difícil		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
<b>A</b>	Confecção	0,8	1	1,5	2	3	4	5	6	7,5
<b>B</b>	Revisão	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
<b>C</b>	Cotação/Entrega	0,5	1	2	0,5	1	2,5	1	2	4
<b>D</b>	Terceirização	0,2	1	2	1	2	3	2	3	5
<b>E</b>	Corte do aço	0,3	0,5	0,8	0,5	1	1,2	1	1,5	1,8
<b>F</b>	Fabricação	1	1,5	2	2	3	3,5	5,5	7	10
<b>G</b>	Acabamento	0,2	0,5	0,8	0,5	1	1,2	1	1,5	1,8
<b>H</b>	Pré-montagem	0,1	0,2	1	0,4	0,5	1	0,8	1	1,2
<b>I</b>	Limpeza/pintura	0,4	0,5	1	0,5	1	1,3	1,8	2	2,5
<b>J</b>	Secagem	1,5	2	3	1,5	2	3,5	1,5	2	4
<b>L</b>	Embalagem	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
<b>M</b>	Montagem final	0,8	1	2	2	3	4	4	5	7

Figura 9. Atividades x tempo otimista, provável e pessimista

O emprego desses três valores depende de dois pressupostos: admite-se que esses possam ser estimados com precisão e que o desvio padrão ( $\rho$ ) é igual à sexta parte da amplitude  $c - a$  (ou, igual à raiz quadrada da variância) (EQUAÇÃO 1). Com isso, a probabilidade do tempo estimado estar entre  $a$  e  $c$  é alta. Isso é possível devido ao fato de existirem bases matemáticas em que, os valores calculados e oriundos de uma distribuição normal podem ser utilizados em PERT com distribuição Beta (HIRSCHFELD, 1987).

$$\rho = \frac{c-a}{6} \quad (1)$$

Para ser feita a distribuição de probabilidade dos tempos das atividades, é preciso se conhecer o tempo médio esperado ( $Te$ ) para conclusão e a variância (fornece o grau de incerteza) de cada atividade (EQUAÇÃO 2). Dessa forma, tem-se, por definição da teoria das probabilidades, que para o  $Te$  o peso de  $b$  é quatro vezes maior que o de  $a$  e  $c$  (probabilidade de acontecer  $b$  é quatro vezes maior que  $a$  e  $c$ ).

$$Te = \frac{a+4b+c}{6} \quad (2)$$

Assim, seguiram-se os cálculos para cada atividade resultando na Figura 10.

	Atividades	Fácil					Normal					Difícil				
		a	b	c	Te	$\rho^2$	a	b	c	Te	$\rho^2$	a	b	c	Te	$\rho^2$
<b>A</b>	Confecção	0,8	1	1,5	<b>1,05</b>	<b>0,01</b>	2	3	4	<b>3</b>	<b>0,11</b>	5	6	7,5	<b>6,08</b>	<b>0,17</b>
<b>B</b>	Revisão	0,1	0,1	0,3	<b>0,13</b>	<b>0,001</b>	0,1	0,2	0,3	<b>0,2</b>	<b>0,001</b>	0,2	0,3	0,4	<b>0,3</b>	<b>0,001</b>
<b>C</b>	Cotação/Entrega	0,5	1	2	<b>1,08</b>	<b>0,06</b>	0,5	1	2,5	<b>1,17</b>	<b>0,11</b>	1	2	4	<b>2,17</b>	<b>0,25</b>
<b>D</b>	Terceirização	0,2	1	2	<b>1,03</b>	<b>0,09</b>	1	2	3	<b>2</b>	<b>0,11</b>	2	3	5	<b>3,17</b>	<b>0,25</b>
<b>E</b>	Corte do aço	0,3	0,5	0,8	<b>0,52</b>	<b>0,01</b>	0,5	1	1,2	<b>0,95</b>	<b>0,01</b>	1	1,5	1,8	<b>1,47</b>	<b>0,02</b>
<b>F</b>	Fabricação	1	1,5	2	<b>1,5</b>	<b>0,03</b>	2	3	3,5	<b>2,92</b>	<b>0,06</b>	5,5	7	10	<b>7,25</b>	<b>0,56</b>
<b>G</b>	Acabamento	0,2	0,5	0,8	<b>0,5</b>	<b>0,01</b>	0,5	1	1,2	<b>0,95</b>	<b>0,01</b>	1	1,5	1,8	<b>1,47</b>	<b>0,02</b>
<b>H</b>	Pré-montagem	0,1	0,2	1	<b>0,32</b>	<b>0,02</b>	0,4	0,5	1	<b>0,57</b>	<b>0,01</b>	0,8	1	1,2	<b>1</b>	<b>0,004</b>
<b>I</b>	Limpeza/pintura	0,4	0,5	1	<b>0,57</b>	<b>0,01</b>	0,5	1	1,3	<b>0,97</b>	<b>0,02</b>	1,8	2	2,5	<b>2,05</b>	<b>0,01</b>
<b>J</b>	Secagem	1,5	2	3	<b>2,08</b>	<b>0,06</b>	1,5	2	3,5	<b>2,17</b>	<b>0,11</b>	1,5	2	4	<b>2,25</b>	<b>0,17</b>
<b>L</b>	Embalagem	0,1	0,2	0,3	<b>0,2</b>	<b>0,04</b>	0,2	0,3	0,4	<b>0,3</b>	<b>0,001</b>	0,4	0,5	0,6	<b>0,5</b>	<b>0,001</b>
<b>M</b>	Montagem final	0,8	1	2	<b>1,13</b>	<b>0,04</b>	2	3	4	<b>3</b>	<b>0,11</b>	4	5	7	<b>5,17</b>	<b>0,25</b>

Figura 10. Tempo esperado e variância de cada atividade

Um maior valor para a variância informa uma maior incerteza sobre os tempos de duração. Na Figura 10 observa-se, por exemplo, que a atividade fabricação para projetos difíceis tem um maior grau de incerteza sendo necessária uma maior atenção a esta, em relação às outras, a fim de serem identificadas e reduzidas às incertezas.

#### 4.5 Análise da Rede (Caminho Crítico)

Pela configuração adquirida pela rede e pela definição de que o caminho mais desfavorável é o crítico (HIRSCHFELD,1987), conclui-se que todas as atividades fazem parte desse caminho sendo influenciadoras diretas do prazo de entrega. Não sendo necessário, portanto, os cálculos das folgas (tempos tardes) relacionadas às atividades que não fazem parte do caminho crítico.

Para se ter uma probabilidade de entrega em uma determinada data “ $T_x$ ”, foi preciso calcular o tempo esperado médio ( $T_e$ ) do caminho crítico, através da soma dos  $T_e$  das atividades que o compõem ( $\sum T_e = T_e(A) + T_e(B) + \dots + T_e(M)$ ) e o cálculo da variância desse caminho pela soma das variâncias das atividades ( $\sum \rho^2 = \rho^2(A) + \rho^2(B) + \dots + \rho^2(M)$ ) conforme Figura 11.

Tipo	$\sum T_e$	$\sum \rho^2$
Fácil	10,12	0,35
Normal	18,18	0,68
Difícil	32,87	1,72

Figura 11- Soma tempo médio e da variância do caminho crítico

Assumiu-se que a distribuição da probabilidade dentro do caminho crítico se comporta como uma distribuição normal, assim, para determinar se uma data de entrega será ultrapassada, deve ser utilizada a distribuição normal padronizada (EQUAÇÃO 3).

$$z = \frac{T_x - T_e}{\rho^2} \quad (3)$$

A probabilidade de um projeto ser terminado no tempo esperado ( $T$ ) e sua distribuição normal são:  $P(T \leq T_x) = P(Z \leq z) = 1 - P(Z > z)$ , onde o primeiro membro é uma aproximação da real probabilidade sendo que, como foi trabalhado com valores médios, este pode ser superestimado. A probabilidade do tempo de execução ser igual ou inferior a  $T_x$  ( $T < T_x$ ) corresponde ao lado esquerdo de  $T_x$  no gráfico de distribuição normal. A direita deste está à probabilidade do tempo  $T$  exceder o tempo de produção previsto ( $T > T_x$ ).

#### 4.6 Avaliação dos Resultados

Para fazer o teste do modelo proposto para determinação e avaliação dos prazos de entrega, foi escolhido aleatoriamente um projeto a fim determinar seu prazo de entrega e a real probabilidade desse prazo ser cumprido. Esse projeto pôde ser classificado como normal e o prazo de entrega dado pelo comercial foi de 20 dias ( $T_x$ ), tendo-se então, da tabela de probabilidades encontrada, que:  $\sum T_e = 18,18$  e  $\sum \rho^2 = 0,68$ . Foi calculado  $z$  (EQUAÇÃO 3) que resultou em  $z = 2,203$ . Ou seja, de acordo com a tabela de distribuição normal, a probabilidade de esse prazo ser cumprido é de 0,9871. O modelo proposto funcionou em sua aplicação, porém, deve ser feita uma maior avaliação dos tempos propostos a fim de se diminuir a variabilidade de algumas atividades.

#### 5. Conclusões

A partir da assimilação dos conceitos teóricos seguidos da modelagem proposta para a empresa em questão, foi possível concluir que a determinação dos tempos de execução dos projetos é influenciada por diversos fatores, sendo estes compostos por fatores tangíveis, passíveis de medição, e intangíveis, que não podem ser medidos com precisão. Pois bem, dentro dos conceitos que se seguiram para esse fim, utilizando o método proposto, foi observado que os mesmos se adaptaram bem ao perfil de empresa em estudo. O resultado final de determinação dos prazos de produto, podem ser previstos com certo grau de precisão de acordo com os levantamentos realizados.

No caso em questão, todas as atividades definidas como influenciadoras do tempo fazem parte do caminho crítico. O atraso ou a antecipação de qualquer atividade altera o lead time dos projetos positiva ou negativamente sendo, portanto, necessário o monitoramento constante destas. Ao valor temporal observado para as atividades, observou-se uma variabilidade, interpretada como um grau de incerteza dos três valores propostos, que deve ser analisada mais profundamente a fim de ser reduzida ao máximo.

Por fim, a adaptação do modelo proposto, ao modelo de produção da empresa em questão, originou um resultado positivo ao ponto que a variabilidade final dos três tipos de projeto (fácil, normal e difícil) não chega a ser alarmante, ou prejudicial, aos prazos viabilizados. A distribuição de probabilidade também demonstrou esse resultado positivo o que trouxe maior segurança para os valores encontrados.

Como resultados principais, a partir dos dados encontrados, observou-se que: o setor de vendas passou a ter um prazo como parâmetro de negociação, de acordo com o tipo de projeto negociado, após uma rápida consulta ao

PCP, a divulgação do mapeamento do fluxo e dos tempos aos interessados originou metas (desafios) perseguidor por todas as equipes, isso criou uma motivação na tentativa de baixar os tempos propostos, o conhecimento da rede gerou maior confiança na área produtiva e diminuiu os erros ocasionados por falta, ou conflito, de informações. Para trabalhos futuros, complementares, a avaliação de capacidade e de concorrência de recursos escassos pode ser adicionada ao trabalho, resultando no prazo de entrega real dos projetos.

## Referências

BERTRAND, J.W.M.; MUSTSLAG, D.R. Production control in engineer-to-order firms. **International Journal of Production Economics**, v.30-31, p.3-22, 1993.

BRASIL, MINISTÉRIO DO TRABALHO: **Cadastro Geral de Empregos** (Caged). Disponível em: [www.caged.gov.br](http://www.caged.gov.br). Acesso em 20 de maio de 2011.

CARVALHO, M.M.; RABECHINI JR, R. **Construindo competências para gerenciar projetos: teoria e casos**. 2ªed São Paulo: Editora Atlas, 2008.

FERNANDES, F.C.F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas, 2010.

FETTERMANN, D.C.; ECHEVESTE, M.E.S. **Desenvolvimento de produto para customização em massa: alternativas para o setor de móveis modulados**. Revista Espacios, v.32, n.4, 2011

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed.São Paulo : Atlas,2002.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. A typology of UF Engineer-to-order Companies. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, v.4, n.1, 2001.

HIRSCHHOFELD, H. **Planejamento com PERT/CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins**. 9ª ed.rev.ampl. São Paulo: Atlas, 1987.

IBGE – Censo -Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 10 de maio de 2011.

JACYNTHO, P.H.Á. **As relações de trabalho nas pequenas e médias empresas dentro da reforma trabalhista**, publicada na Síntese Trabalhista n.º 131, pg. 23, maio de 2000. Faculdade de Direito e Administração da Fundação Educacional de Barretos – São Paulo.

LA ROVERE, R.L. **Perspectivas das micros, pequenas e médias empresas no Brasil**. Grupo de Economia da Inovação- Instituto de Economia da UFRJ. Rio de Janeiro: Campus, 1999

MEGLIORINE, E.; GUERREIRO, R.. A Percepção dos Gestores Sobre Quanto a Fatores Competitivos nas Empresas Produtoras de Bens de Capital Sob Encomenda: Um estudo exploratório. **BASE- Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**- v.1, n.22, p.5-14, setembro/dezembro, 2004.

MOLINA, C.C.; RESENDE, J.B. Atividades do Planejamento e Controle da Produção (PCP). **Revista Científica Eletrônica de Administração**, ano VI, n.11, dezembro de 2006.

MOURA, J. A.N.C. **Novas Tecnologias e Sistemas de Administração da Produção**- Análise do Grau de Integração e Informatização nas Empresas Catarinenses, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Dissertação em Engenharia de Produção e Sistemas, 1996.

PIRES,S.R.I.: **Gestão Estratégica da Manufatura**. São Paulo: Editora UNIMEP, 1995.

RAHMAN, A.; RAHIM, A.; SHARIFF, M.; BAKSH. N. The need for a new product development framework for engineer-to-order products. **European Journal of Innovation Management**, v.6, n.3, p.182-196, 2003.

RODRIGUES, C. **Metodologia Científica**. FAETEC/IST, Paracambi :2007

RUSSOMANO, V.H.. **Planejamento e Acompanhamento da Produção**.São Paulo: Ed. Pioneira, 1979.

SEBRAE, Divulgação Pesquisa de Agosto de 2007. Disponível em [www.sebrae.com.br](http://www.sebrae.com.br). Acesso em 15 de maio de 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ªed. São Paulo: Atlas, 2002.

TRIETSCH, D.; BAKER, K.R. PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century. **International Journal of Project Management**, v.30, n.4, p.490-502, 2012.

TUBINO, D.F. ;QUEZADO, P.C.A.M.; CARDOSO, C.R. O. Programação e Controle da Produção sob Encomenda Utilizando PERT/CPM e Heurística. **Anais...** do IX Encontro Nacional de Engenharia de Produção

(ENEGEP), 6 a 9 de outubro, Salvador/BA, 2009.

TUBINO, D.F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

ULRICH, K.;TUNG,K. Fundamentals of product modularity. *Proceedings...* ASME Winter Annual Meeting Symposium on Issues in Design/Manufacturing Integration, 1991, Atlanta.