

Utilização da Rede PERT/CPM como auxílio do Planejamento do Processo Produtivo de uma linha de Colchões

Andressa Maria Corrêa, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

andmariah@hotmail.com

Camila Maria Uller, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

camilauller1994@gamil.com

Pedro Henrique Barros Negrão, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

pedrobnegrao@hotmail.com

Thamara Martim, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

thamara_martim_@hotmail.com

Tainara Rigotti de Castro, EPA, UNESPAR/Campus de Campo Mourão

tainararcasto@hotmail.com

Resumo: A técnica da rede PERT/CPM é muito utilizada para o planejamento de projetos, visto que através dela é possível averiguar as atividades que precisam de maior atenção, ou seja, as atividades críticas, que são aquelas que não podem sofrer atrasos. Essa pesquisa teve por objetivo aplicar a técnica PERT/CPM em uma Empresa produtora de estofados e colchões, localizada no Centro Oeste do Paraná/ PR. Para tal, foram realizadas visitas in loco na Empresa, bem como entrevistas informais com o Gerente da Produção. Por fim, foi possível levantar os pontos críticos do processo, visto que a técnica PERT/CPM se mostrou capaz de auxiliar no gerenciamento da produção, se mostrando hábil para o suporte do planejamento.

Palavras-chave: Atividades críticas, PERT/CPM; Planejamento do processo.

1. Introdução

A presente pesquisa se enquadra dentro das diversas áreas da Engenharia de Produção, definidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2008). Esta área é a Pesquisa Operacional (PO), que é tida como a aplicação de métodos científicos e problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões: tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos. Todas essas necessidades surgem através de um projeto pré-estabelecido, que precisa ser executado com precisão de decisões (ARENALES *et al.*, 2007).

Quando tratamos de projetos, segundo Colin (2007), os objetivos associados à gestão de projetos, estão integrados a terminar um projeto dentro de um prazo pré-especificado, minimizar o custo de atender à sua data de entrega, fazer o projeto dentro do

menor horizonte de tempo possível etc. Assim, como forma de auxílio para modelar as atividades relacionadas a um projeto, tem-se o que chamamos de redes.

De acordo com Arenales *et al.* (2007), uma das mais importantes aplicações das redes são no planejamento e programação da produção, programação de projetos, programação de máquinas e de pessoal, distribuição de bens, entre outros. Entre as técnicas utilizadas para tal, está a rede PERT/CPM.

De acordo com Ramos (2012), as técnicas PERT e CPM foram independentemente desenvolvidas para o planejamento e controle de projetos em 1950, porém, a grande semelhança entre estas faz com que o termo PERT/CPM seja utilizado corriqueiramente como apenas uma técnica. As escritas PERT e CPM são utilizados como acrônimo de *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM) (RAMOS, 2012).

A execução da rede PERT/CPM em uma organização tem como finalidade fazer a análise do sequenciamento do processo e conseqüentemente a otimização de tempo do mesmo, readequando as durações de tempo de cada etapa de produção à sua real necessidade de duração.

Sendo assim, o presente trabalho objetiva desenvolver uma rede para o processo produtivo de uma Empresa de estofados e colchões, localizada na região Centro Oeste do estado do Paraná/ PR. Para tal, é necessário ter conhecimento de algumas variáveis do processo, tais como: atividades envolvidas no processo de produção, com suas respectivas descrições, identificados seus predecessores imediatos e os respectivos tempos de execução de cada uma.

2. Pesquisa Operacional

A PO teve sua origem em 1938, a partir de iniciativas militares na Segunda Guerra Mundial. Por causa dos esforços na guerra, a necessidade de se alocar recursos às várias operações militares e às atividades dentro de cada operação de uma maneira efetiva. A princípio da PO foi aplicada pelas forças armadas britânicas, e logo depois de constatar a sua efetividade, esforços similares foram aplicados nos Estados Unidos (MOREIRA, 2010).

A PO baseia-se, principalmente no método científico para tratar seus problemas. Tanto quanto possível, a PO procura obter a melhor solução, ou solução ótima para um problema, sendo que essa solução ótima, muitas vezes não leva em consideração algumas variáveis, principalmente as de cunho comportamental. Uma vez encontrado uma solução ótima ainda é necessário se fazer uma análise de viabilidade, levando em consideração características do problema que não foram levados em consideração na modelagem (COLIN, 2007).

2.1 Otimização em redes

As redes surgiram em diferentes ambientes e de várias formas, como por exemplo, redes de transporte, elétricas e de comunicações. As representações em formato de rede são usadas em vários problemas, como produção, distribuição, planejamento de projetos entre outros, assim a rede fornece uma ferramenta conceitual e visual tão ampla para descrever as relações entre os componentes de sistemas que é praticamente utilizada em todos os campos dos empreendimentos científicos, social e econômico (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

2.1.1 Rede PERT/CPM

As técnicas de planejamento foram ganhando maior importância a partir do momento da complexidade crescente dos projetos, sendo mais efetivas e sistemáticas, com o objetivo de otimizar a eficiência da execução de um projeto. Com o surgimento dessa necessidade, nasceram, quase simultaneamente, duas técnicas que em virtude de sua aplicabilidade tornaram-se bastante populares: PERT e CPM. A rede PERT/CPM é a técnica mais adequada para planejamento, sequenciamento e acompanhamento de projetos (TUBINO, 2000).

O PERT/CPM é uma metodologia recomendada para ser aplicada em gestão de projetos, devido a facilidade em integrar e correlacionar corretamente as atividades de planejamento e controle (AVILA, SD). Seu objetivo é estruturar logicamente as atividades a serem executadas, suas interdependências, suas durações também tendo a possibilidade de saber qual a duração mínima do projeto, com relação a cada atividade ter conhecimento de qual data mais cedo para iniciá-la e terminá-la (MORAIS, 2015)

2.1.1.1 Construção da Rede

Para construção de um projeto basta ter um conjunto de atividades independentes, mas logicamente interligadas, podendo ser representadas por uma rede. Tubino (2000) afirma que para a elaboração dessa rede, o primeiro passo é apresentar todas as dependências das atividades do projeto. A Figura 1 exemplifica uma Rede PERT/CPM.

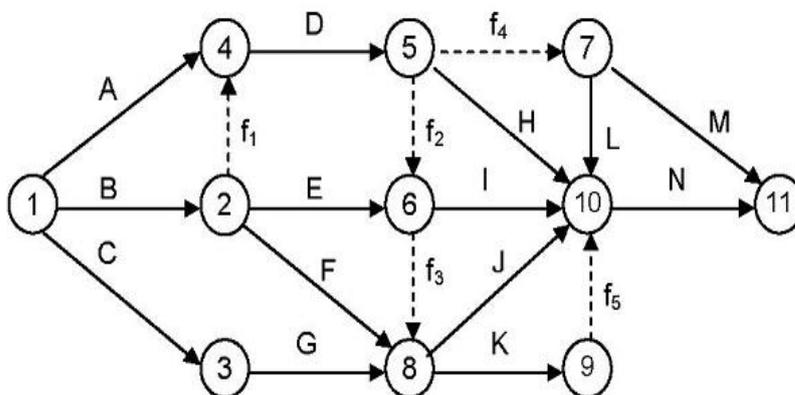


Figura 1 -Exemplificação de uma rede PERT/CPM. Fonte: Neves, 2015.

As setas representam atividades do projeto que consomem determinado recurso e/ou tempo, já os nós representam o momento de início e fim das atividades, que são chamados de eventos. As setas tracejadas são chamadas atividades fantasmas, que indicam relação de dependência indireta com outra atividade. Os eventos são pontos no tempo que demarcam o projeto e, diferente das atividades, não consomem recursos, nem tempo (TUBINO, 2000).

2.1.1.2 Regras básicas para montagem da rede PERT/CPM

Segundo Morais (2015) Para entender a montagem de rede, é necessário conhecer algumas definições:

- a) Atividades paralelas: entre dois eventos sucessivos somente pode existir uma única atividade;

- b) Atividades fantasmas: são atividades fictícias, que indicam a relação de “dependência indireta” de realização que uma atividade pode ter em relação à outra. Não consomem tempo nem recursos financeiros, só devendo ser empregada quando realmente necessária;
- c) Atividades simultâneas: são duas ou mais atividades que partem de um só evento, e;
- d) Atividades condicionantes: são aquelas que condicionam de determinada maneira a realização da (s) atividade (s) que lhe sucedem, sendo normalmente representadas por uma linha tracejada.

De acordo com Andrade (2004), qualquer atividade que nasce diretamente num evento, ou seja, por meio da execução das atividades que chegam a esse evento, recebe nesse caso o nome de dependente direta. Qualquer atividade que nasce indiretamente num evento, ou seja, por meio de uma atividade fantasma, situa-se em um dos dois casos: 1) depende indiretamente da execução das atividades que chegam ao evento onde nasce a atividade fantasma, denominando-se neste caso dependente indireta, ou; 2) não depende indiretamente das atividades que chegam a este evento, mas tem-se resolvido executa-la após o término das atividades que chegam ao referido evento por simples conveniência.

2.1.1.3 Cálculo dos tempos de uma rede PERT/CPM

Segundo Monteiro (2013), apud DAVIS; AQUILANO; CHASE, (1998) é possível definir para cada atividade do projeto quatro tempos referente às datas de início e término das atividades:

- a) Primeira Data de Início (PDI): data que pode ser iniciada a atividade caso as antecessoras tenham sido obedecidas no período de duração estimado.
- b) Primeira Data de Término (PDT): data de término de uma atividade dentro do prazo estimado que se inicia em PDI.
- c) Última Data de Término (UDT): data limite de encerramento de uma atividade, sem atraso da data do término do projeto.
- d) Última Data de Início (UDI): data limite de início de uma atividade que pode se encerrar em UDT.

As datas-limite são passíveis de cálculos, em que o PDI pode ser calculado através da Equação 1; o PDT, através da Equação 2; o UDT, através da Equação 3, e; o UDI, através da Equação 4.

$$PDI = \text{Cedo do evento inicial} + 1 \quad (1)$$

$$PDT = PDI + \text{Duração da atividade} - 1 \quad (2)$$

$$UDT = \text{Tarde do evento final} \quad (3)$$

$$UDI = UDT - \text{Duração da atividade} + 1 \quad (4)$$

Para Menezes (2003), ainda é possível calcular as folgas entre as atividades do processo, denominadas como:

- a) Tempo Disponível (TD): é o tempo na qual a atividade deve ser realizada;
- b) Folga Total (FT): É o atraso máximo que a atividade pode sofrer sem alterar as durações das atividades subsequentes;

- c) Folga Livre (FL): se caracterizam como uma folga disponível sem alterar as PDIs programadas de suas sucessoras;
- d) Folga Dependente (FD): é o atraso máximo que a atividade pode sofrer, considerando que vá se iniciar no tarde do evento inicial e terminar no tarde do evento final;
- e) Folga Independente (FI): é o atraso máximo que a atividade pode sofrer, considerando começar no tarde do evento inicial e terminar no cedo do evento final.

As folgas são passíveis de cálculos, em que o TD pode ser calculado através da Equação 5; a FT, através da Equação 6; a FL, através da Equação 7; a FD, através da Equação 8, e; a FI, através da Equação 9.

$$TD = \text{Tarde do evento final} - \text{Cedo do evento inicial} \quad (5)$$

$$FT = TD - \text{Duração da atividade} \quad (6)$$

$$FL = \text{Cedo do evento final} - \text{Cedo do evento inicial} - \text{Duração da atividade} \quad (7)$$

$$FD = \text{Tarde do evento final} - \text{Tarde do evento inicial} - \text{Duração da atividade} \quad (8)$$

$$FI = \text{Cedo do evento final} - \text{Tarde do evento inicial} - \text{Duração da atividade} \quad (9)$$

2.1.1.4 Caminho crítico

O caminho crítico é definido como qualquer caminho formado a partir do nó que inicia até o nó que finaliza, seu comprimento é dado pela soma das durações das atividades sobre o caminho. Sendo assim, o maior caminho, ou seja, o com maior comprimento é o crítico; representando as atividades que não possuem folga e se não executadas dentro do tempo determinado atrasarão o projeto (MENEZES, 2003).

Um projeto poder apresentar vários caminhos críticos simultâneos, além da possibilidade destes caminhos sofrerem alterações ao longo do projeto mudando frequentemente (MENEZES, 2003).

3. Revisão de Literatura

A rede PERT/CPM tem um vasto campo de aplicação, podendo ser aplicada em: construções de plantas; pesquisa e desenvolvimento de um produto; produção de filmes, construção de navios; instalação de sistema de informações; condução de campanhas publicitárias; gestão de projetos; lançamento de foguetes; construção ou reforma de linhas férreas; entre outras (MENEZES, 2003).

Neto e Sanches (2013) utilizaram a ferramenta PERT/CPM para avaliar os fluxos de caixa de projetos de investimentos. Conclui-se que a técnica pode viabilizar projetos antes inviáveis ou até mesmo demonstrar ganhos financeiros em simples ações relacionadas ao ato de adiar ou postergar o início de atividades. Assim, a ferramenta se mostrou eficaz na área

Monteiro e Ramires (2013) utilizaram a ferramenta para a determinação do tempo total de fabricação de um produto, através da aplicação conclui-se que a ferramenta possibilitou conhecimento do que pode vir a interferir no processo produtivo da Empresa.

Panta *et al.* (2015), aplicaram a rede em uma empresa de confecção de *lingerie*, concluíram que a aplicação traz um maior conhecimento por parte da empresa e auxilia no

processo de eficiência voltado ao controle do planejamento de execução do produto, ou seja, facilita o gerenciamento da produção.

Lourinho *et al.* (2015), utilizaram a técnica de PERT/CPM em uma produção de tubos de concreto armado e notaram que a ferramenta auxilia no planejamento e controle de processos e ainda reduz custos.

A partir da revisão de literatura, pode-se notar que a aplicação da rede PERT/CPM é eficaz, pois ajuda no gerenciamento da produção, podendo ter em vista quais fatores podem interferir no processo de produção, assim evitando perdas desnecessárias de tempo e ganhos financeiros.

4. Metodologia

Utilizou-se como método de abordagem, o qualitativo. Sendo a pesquisa classificada, quanto aos fins como explicativa; e quanto aos meios como bibliográfica e estudo de caso.

A coleta de dados foi realizada através de visitas *in loco* para acompanhamento do processo produtivo, em uma Empresa de estofados e colchões, situada na região do Centro Oeste do Paraná/PR. Ainda foram realizadas entrevistas informais com o Gerente de Produção. Os tempos das atividades componentes do processos foram fornecidos por pessoas experientes na área, em meados dos meses de novembro e dezembro de 2015.

Para a revisão de literatura, as buscas foram realizadas nos sites: Google e ABEPRO; e nos anais do ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção). Para tal, as palavras-chave utilizadas foram: PERT/CPM; Aplicação da rede PERT/CPM; Elaboração da rede PERT/CPM; Estudos de caso utilizando rede PERT/CPM.

5. Estudo de caso

5.1 Descrição do processo produtivo

Para a realização da rede PERT/CPM foi selecionada a linha de fabricação do colchão de espuma de casal, em que o fluxograma do processo produtivo pode ser observado na Figura 1. O processo de produção inicia-se com a fabricação da espuma, em que há o despejo, na máquina, das proporções de densidade programada, sendo três componentes químicos necessários (Poliuretano, Polioliol, TDI).

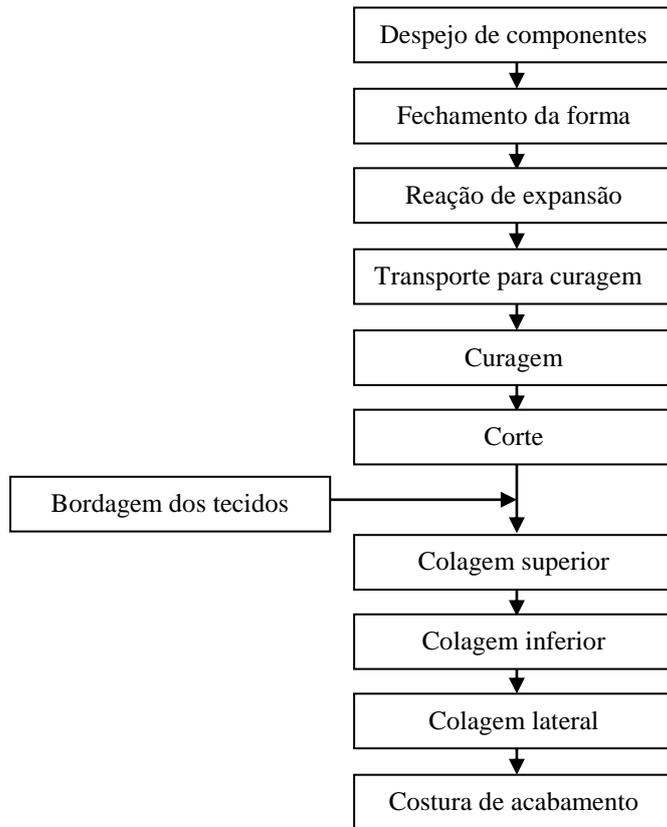


Figura 1 – Processo produtivo do colchão de espuma.

A próxima etapa é a de fechamento da forma, para que ocorra a expansão dos componentes conforme as limitações do espaço disponível. A reação de expansão ocorre em relação aos produtos químicos adicionados, elevando a temperatura interna da forma a aproximadamente 150 °C.

Então, inicia-se o processo de transporte para curagem, visto que a espuma é levada para uma área de estocagem arejada e isolada do restante do processo. A curagem ocorre visando o esfriamento e solidificação interior dos blocos de espuma. Após a curagem, a espuma segue para o processo de Corte, a fim de que a mesma ganhe as dimensões do colchão.

Simultaneamente ao restante do processo, são preparados os tecidos que serão colados à espuma. Os mesmos são cortados e bordados.

Após o corte da espuma, inicia-se a etapa de colagem dos tecidos na espuma, tanto na parte superior, como inferior e laterais. Por fim, ocorre a costura, visto que os tecidos já colados são fixados ao colchão para melhor acabamento.

5.2 Rede PERT/CPM

Com base no processo produtivo e de posse dos tempos das atividades de processo, elaborou-se o Quadro 1.

Atividade	Tarefa	Tempo (h)	Dependências
A	Despejo dos componentes	0,014	-
B	Fechamento da forma	0,0014	A
C	Reação de Expansão	0,0042	B
D	Transporte para curagem	0,024	C
E	Curagem	24	D
F	Corte	0,2	E
G	Bordagem dos tecidos	0,025	-
H	Colagem superior	0,0063	G,F
I	Colagem inferior	0,007	G,F
J	Colagem lateral	0,0046	G,F
K	Costura de acabamento	0,2166	H,I,J

Quadro 1 - Listagem de atividades e suas dependências para a fabricação do colchão.

Com base no Quadro 1, foi possível construir a rede PERT/CPM, disposta na Figura 1, bem como realizar o cálculo dos cedos e tardes da mesma.

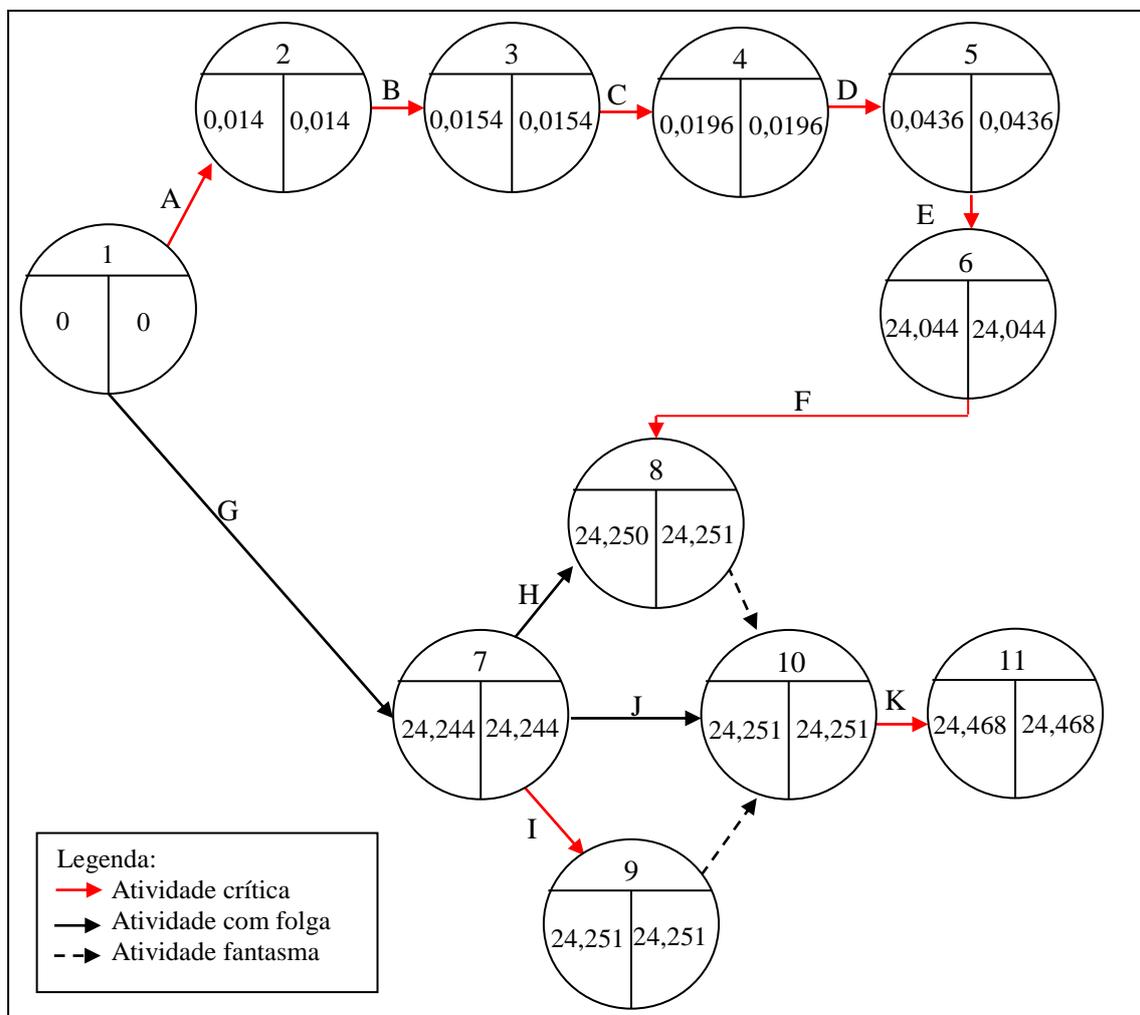


Figura 1 - Rede PERT/COM do processo produtivo do produto colchão de casal.

Observa-se, através da Figura 1, que o caminho crítico da rede é formado pelas atividades: A, B, C, D, E, F, I e K, levando a um cenário delicado, pois se quaisquer dessas

atividades sofrerem atraso, todas as atividades subsequentes atrasarão também. Sendo assim, as atividades G, H e J não são críticas, possuindo alguma folga. Ressalta-se que a atividade G não tem dependência de nenhuma atividade do projeto, tendo desde o início do mesmo para desenvolver sua atividade simultaneamente com o restante das outras atividades, levando assim a uma criação de estoque dos tecidos bordados.

A partir dos cedos e tardes calculados anteriormente, pode-se calcular as datas-limite para início e fim das atividades do projeto. Essas datas são importantes, pois podem informar ao Gerente de Produção os marcos importantes para planejamento da execução. As datas-limite do processo produtivo do produto podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Datas Limite das Atividades.

Atividade	Tarefa	Tempo (h)	PDI	PDT	UDT	UDI
A	Despejo dos componentes	0,014	1	0,014	0,014	1
B	Fechamento da forma	0,0014	1,014	0,0154	0,0154	1,014
C	Reação de Expansão	0,0042	1,0154	0,0196	0,0196	1,0154
D	Transporte para curagem	0,024	1,0196	0,0436	0,0436	1,0196
E	Curagem	24	1,0436	24,044	24,044	1,044
F	Corte	0,2	25,044	24,244	24,244	25,044
G	Bordagem	0,025	1	0,025	24,244	25,219
H	Colagem superior	0,0063	25,244	24,2503	24,251	25,245
I	Colagem inferior	0,007	25,244	24,251	24,251	25,244
J	Colagem lateral	0,0046	25,244	24,249	24,251	25,246
K	Costura de acabamento	0,2166	25,251	24,468	24,468	25,251

Devido a interdependência das atividades do processo produtivo, todas as atividades fora do caminho crítico possuem algum tipo de folga, das quais é importante o conhecimento, por parte do Gerente de Produção, de modo que ele possa administrar adequadamente seu desenvolvimento. As folgas das atividades do processo produtivo do colchão de casal estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Folga das Atividades.

Atividade	Tarefa	Tempo (h)	TD	FT	FL	FD	FI
A	Despejo dos componentes	0,014	0,014	0	0	0	0
B	Fechamento da forma	0,0014	0,0014	0	0	0	0
C	Reação de Expansão	0,0042	0,0042	0	0	0	0
D	Transporte para curagem	0,024	0,024	0	0	0	0
E	Curagem	24	24	0	0	0	0
F	Corte	0,2	0,2	0	0	0	0
G	Bordagem dos tecidos	0,025	24,244	24,219	24,219	24,219	24,219
H	Colagem superior	0,0063	0,007	0,0007	0	0,0007	0
I	Colagem inferior	0,007	0,007	0	0	0	0
J	Colagem lateral	0,0046	0,007	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
K	Costura de acabamento	0,2166	0,217	0	0	0	0

6. Considerações Finais

Através de cálculos realizados para construir a rede PERT/CPM, verificou-se que para produzir uma unidade do produto em questão (colchão de espuma de casal), a Empresa necessita de 24,468 horas. Esse tempo é elevado devido ao processo de produção da espuma, levando em consideração que para a curagem da mesma há um envolvimento de 24h.

Com a construção da rede pode-se verificar que das 11 atividades que compõem o processo produtivo, 8 delas não possuem folga, ou seja, 72,72% do processo é composto por atividades críticas. Sendo assim, o processo de fabricação do produto em questão envolve variáveis que se atrasadas, comprometem a entrega do produto ao cliente, pelo fato da interdependência de suas atividades.

Assim, a técnica PERT/CPM revelou-se uma opção viável para o controle do processo produtivo do produto estudado, sendo capaz de auxiliar no gerenciamento da produção, oferecendo facilidade para realizar o planejamento da produção, em relação a alocação de recursos disponíveis, mão de obra e máquinas, tendo em vista também o tempo necessário para cada atividade, garantindo a data de conclusão do produto ou lote.

Referências

- ANDRADE, E. L. de. *Introdução a pesquisa operacional: Métodos e modelos de análise de decisões*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- ARAMOS, R. *Pesquisa Operacional – PERT/CPM*. Elsevier. Petrolina, 2012.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BARRA, R. B. M., SEPTIMO, G. A., BASTOS, L. S. L., MARTINS, V. W. B. Elaboração de rede PERT/CPM na indústria da construção civil através da utilização do software MSproject: Um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. *Anais...* Salvador, 2013.
- COLIN, E. C. *Pesquisa Operacional: 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- COLIN, E. C. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, Gerald J. *Introdução a pesquisa operacional*. 8. ed. Porto Alegre: Amgh, 2010. 852 p.
- LOURINHO, L. H. M. *et al.* Aplicação das técnicas de PERT/CPM para determinação do caminho crítico e tempo total de produção de “tubos concreto armado” em uma empresa de pré-moldados de concreto no município de Marituba- PA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2015.
- MENEZES, L. C. M. de. *Gestão de Projetos*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MONTEIRO, N. J. e RAMIRES, V. R. M. Aplicação das técnicas de PERT/CPM para determinação do tempo total de fabricação e do caminho crítico do produto cadeira diretor em uma empresa de móveis em Belém do Pará. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, 2013, Salvador. *Anais...* Salvador, 2013.
- MORAIS, M. F. *Apostila de Pesquisa Operacional II*. Apostila de apoio. Universidade Estadual do Paraná/campus de Campo Mourão, 2015.
- MOREIRA, D. A. *Pesquisa Operacional: curso introdutório*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

NETO, R. D. G. e SANCHES, A. L. Utilização da ferramenta PERT/CPM para avaliação dos fluxos de caixa de projetos de investimentos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9, 2013, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2013.

NEVES, J. C.; OLIVEIRA, D. P. de; MACIE, J. Modelo de rede PERT/CPM para otimizar a relação conflitante tempo-custo. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE MATEMÁTICA, 28, 2012, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2012.

PANTA, E. de S.*et al.*Elaboração de rede PERT/CPM em uma empresa de confecção: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2015.

TUBINO, D. F. *Manual de Planejamento e Controle da Produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000.