

ESTUDO DO MÉTODO DO CAMINHO CRÍTICO (CPM) NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TAMPAS DE INSPEÇÃO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA

CRITICAL PATH METHOD (CPM) STUDY IN MANUFACTURING INSPECTION COVERS IN A METALLURGICAL INDUSTRY

Luiz Sérgio Paes Oliveira¹

Gilson Eduardo Tarrento²

RESUMO

Método determinístico de gestão de projetos, a técnica do caminho crítico, CPM (*Critical Path Method*) permite identificar em uma rede de projeto qual atividade não possui folga, ou seja, aquela em que qualquer atraso irá comprometer no prazo de entrega de um produto ou serviço estabelecido com o cliente. Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos por meio da aplicação da técnica CPM em uma célula de fabricação de tampas de inspeção de uma empresa metalúrgica do interior do estado de São Paulo, onde, após análise dos processos, foram identificadas várias oportunidades de melhoria na empresa alvo da pesquisa. A metodologia adotada constituiu, inicialmente, coletar os dados das atividades via sistema e observar todos os processos envolvidos na fabricação da tampa. Em seguida, foi elaborada a rede do projeto de montagem identificando o caminho crítico. Por fim, após reuniões de alinhamento com os departamentos de apoio, foi desenvolvida e aplicada uma melhoria na célula, na qual se obteve uma redução de, aproximadamente, 15% no tempo de fabricação do componente analisado.

Palavras-chave: *Lead time*, Engenharia, Mão de obra, Projeto

ABSTRACT

The critical path technique, CPM (Critical Path Method) is a deterministic method of project management, which allows identifying within a project network which activity has no slack, that is, the activity in which any delay will jeopardize the delivery time of a product or service established with the customer. This paper aims to present obtained results by applying CPM technique in an inspection cover manufacturing cell in a metallurgical company in the interior of São Paulo state, Brazil. After analyzing the processes, it was observed several opportunities for improvement for the researched company. Finally, after alignment meetings with the support departments, an improvement was developed and applied to the cell. Adopted methodology was, at first, to collect activity data through the system observe all the processes involved in the cover manufacturing. Afterwards, the assembly project network was created identifying the critical path. Finally, after alignment meetings with support departments, an improvement was developed and applied to the cell, which had a reduction of nearly 15% in the production time of the research component.

Key Words: Lead Time, Engineering, Labor, Project.

¹ Graduando do Curso de Produção na Faculdade de Tecnologia de Botucatu, e-mail: l.sergiopaes@gmail.com

² Prof.^a Curso de Produção Industrial na Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

1 INTRODUÇÃO

A administração da produção aborda a maneira como as empresas conduzem seus recursos com a finalidade de melhorar os resultados obtidos com seus produtos e/ou serviços. Uma boa articulação entre as áreas que compõe a empresa, desde a movimentação da matéria-prima até a venda para o cliente final, é essencial para que os diversos processos que associados à fabricação do produto sejam executados de forma mais eficiente. Com isso, ferramentas voltadas à gestão da produção auxiliam no controle desses processos. Dentre as diversas opções de ferramentas, destaca-se o método do caminho crítico, ou comumente conhecido como CPM (*Critical Path Method*), que tem por objetivo identificar numa sequência de atividades a existência, ou não, de folga(s) de tempo e, assim, determinar as prioridades na execução de um projeto para que não comprometam prazos pré-estabelecidos.

Peinado e Graeml (2007) definiram a ferramenta CPM como sendo uma técnica de coordenação de projetos de grande porte, aplicada inicialmente em projetos de manutenção de fábricas da indústria química. Os autores salientaram ainda que um projeto é constituído por um conjunto de atividades distintas, independentes entre si, porém ligadas umas às outras de forma lógica. Essa lógica pode ser desenhada através de uma figura chamada diagrama de rede.

Moreira (2004) complementa que o diagrama de rede demonstra as atividades do projeto e sua estruturação, tendo como objetivo interpretar da forma mais adequada a técnica, podendo assim, otimizar indicadores relacionados aos custos, desperdícios e atrasos na produção.

Já, de acordo com Slack et al. (2011), o método CPM, em seu diagrama de rede, descreve uma sequência de atividades do início ao final do projeto, permitindo assim, obter a duração total das atividades. O caminho que possui a duração mais longa é denominado caminho crítico da rede, podendo, também, essa mesma rede possuir um, ou mais caminhos críticos.

Martins e Laugeni (2005) apontam que as técnicas PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method*) são aplicadas na área de controle de projetos, auxiliando desde a elaboração até a aplicação, determinando assim o sucesso do projeto.

Para Gaither e Frazier (2002), os métodos PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*) se diferem, basicamente, no conceito de estimativas dos tempos de cada atividade. Enquanto o primeiro se baseia em conceitos probabilísticos o segundo se firma nos conceitos determinísticos.

Krajewski et al. (2008) corroboram ao mencionarem os cálculos de tempos de conclusão de projetos dentro de prazos estabelecidos, oriundos das técnicas PERT/CPM,

alcançam vantagem com relação ao planejamento de outros eventos, permitindo assim, negociações com clientes e fornecedores internos.

Araújo et al. (2012) observaram que as empresas, cada vez mais, buscam estratégias para otimização dos prazos de produção, bem como a influência do *lead time* no fornecimento de materiais críticos nos processos industriais.

Contribuindo, Pelícia e Tarrento (2015) salientaram que uma otimização de tempo de uma rede de projetos é alcançada aplicando a técnica CPM, permitindo assim, estabelecer uma sequência de atividades do projeto a serem concluídas dentro do prazo final.

Contudo, Borges Jr. (2016) afirmou que o método sofre forte resistência na sua aplicação nos mais variados tipos de processos produtivos, devido ter sido, inicialmente, desenvolvido na elaboração de grandes projetos.

Para Silva et al. (2017), o desconhecimento do sistema produtivo influencia negativamente nos objetivos da organização. Assim, a ferramenta CPM não só otimiza o tempo gasto na execução de determinada atividade, mas, também, otimiza custos e recursos, uma vez que o projeto é estruturado e esquematizado de forma assertiva.

Diante desse contexto, esta pesquisa tem por objetivo realizar a cronoanálise dos processos referentes à fabricação de tampas de inspeção em uma empresa do ramo metalúrgico. A metodologia adotada consiste na elaboração da rede de projetos por meio da técnica CPM.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição geral dos materiais utilizados

Para realização do experimento, foram, inicialmente, coletados os dados diretamente no *software* integrado de gestão, usualmente conhecido como *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa em questão, que forneceu todas as atividades envolvidas no processo de fabricação das tampas de inspeção e seus respectivos tempos. Todos esses parâmetros apontados no sistema ERP foram fornecidos pelo departamento responsável, neste caso, o de Métodos e Processos e, posteriormente, os dados coletados via sistema, passaram por um processo de aferição *in loco*.

O registro dos tempos se deu por meio do uso de um cronômetro progressivo da marca Vollo modelo VI501 e, para tabulação dos dados coletados, foi utilizado o Excel, programa do pacote *Office* para *Windows*.

2.2 Descrição do método utilizado – primeira fase

A primeira etapa do experimento foi realizada no departamento de engenharia da empresa objeto da pesquisa, localizada no interior do estado de São Paulo. Nessa etapa, por meio do *software* integrado de gestão ERP, as informações foram coletadas, analisadas e esquematizadas num diagrama de processo contemplando todas as etapas envolvidas na fabricação do conjunto estudado, sendo:

2.2.1 Processo de fabricação do chapeamento da tampa

Para a fabricação da tampa é utilizada uma chapa plana obtida da matéria-prima alumínio com espessura de, aproximadamente, 2mm que confere o acabamento ao conjunto, o chapeamento possui, ao todo, 4 processos em sua fabricação, conforme descrito abaixo:

- a) Cortar matéria-prima;
- b) Recorte para alívio (4X);
- c) Dobrar (4X);
- d) Recorte para o puxador.

2.2.2 Processo de fabricação da estrutura da tampa

A estrutura da tampa é composta por tubos de aço com geometria quadrada, com espessura de 1,55mm e é responsável pela sustentação de todo o conjunto finalizado e devidamente instalado, possui as seguintes etapas para sua fabricação:

- a) Cortar matéria-prima;
- b) Soldar conjunto.

2.2.3 Processo de fabricação da tampa - conjunto final

A última etapa do processo de fabricação é a união da estrutura e chapeamento mais os componentes necessários para possibilitar a instalação no local a ser inspecionado. As etapas finais são:

- a) Aplicação de espuma na estrutura;
- b) Furar e rebitar o chapeamento na estrutura;
- c) Montar trinco;

- d) Montar haste de travamento;
- e) Montar puxador;
- f) Montar fechadura.

2.3 Descrição do método utilizado – segunda fase

Na segunda etapa do experimento, foram tabulados em uma planilha do *Excel*, os tempos disponíveis no sistema, de cada uma das atividades envolvidas no processo de fabricação do conjunto estudado.

O primeiro processo tabulado foi referente à fabricação do chapeamento, cujos tempos de execução constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Processo de fabricação do chapeamento da tampa

PROCESSOS	TEMPOS (MIN.)
a) CORTAR MATÉRIA-PRIMA	0,3
b) RECORTE PARA ALÍVIO (4X)	0,8
c) DOBRAR (4X)	0,8
d) RECORTE PARA PUXADOR	1

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O segundo processo tabulado foi referente à fabricação da estrutura da tampa onde os tempos destacados, encontram-se registrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Processo de fabricação da estrutura da tampa

PROCESSOS	TEMPOS (MIN.)
a) CORTAR MATÉRIA-PRIMA	2
b) SOLDAR CONJUNTO	20

Fonte: Próprio Autor, 2019.

O terceiro e último processo foi referente à fabricação do conjunto final da tampa, sendo que os tempos de cada uma das etapas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Processo de fabricação do conjunto final da tampa

PROCESSOS	TEMPOS (MIN.)
a) APLICAR ESPUMA	2,5
b) REBITAR CHAPEAMENTO	5
c) MONTAR TRINCO	3
d) MONTAR HASTE	4
e) MONTAR PUXADOR	2
f) MONTAR FECHADURA	3

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Para efeito de melhor compreensão, todas as atividades e seus respectivos tempos, supracitados nas Tabelas 1, 2 e 3, foram agrupados e estruturados na Tabela 4.

Tabela 4 – Visão global de todas as atividades

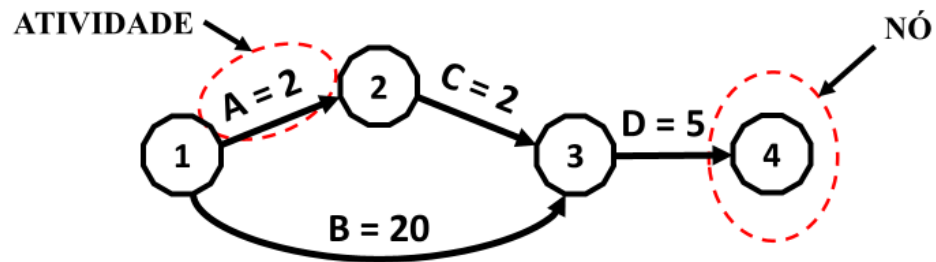
ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO (MIN.)
A	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	0,3
B	RECORTE PARA ALÍVIO (4X)	0,8
C	DOBRAR (4X)	0,8
D	RECORTE PARA PUXADOR	1
E	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	2
F	SOLDAR CONJUNTO	20
G	APLICAR ESPUMA	2,5
H	REBITAR CHAPEAMENTO	5
I	MONTAR TRINCO	3
J	MONTAR HASTE	4
K	MONTAR PUXADOR	2
L	MONTAR FECHADURA	3

Fonte: Próprio Autor, 2019.

2.4 Elementos de uma rede de projeto – Atividade e Nó

O processo de sequenciar as atividades envolvem identificá-las e colocá-las numa ordem lógica fazendo uso de figuras geométricas que ilustram a rede. Na Figura 1 a seguir, tem-se a letra “A” representando a atividade com seu respectivo tempo de duração, o balão “4” representando os Nós da rede, que marcam o início de uma atividade e o fim de outra e, por fim, setas indicando a ordem com que cada atividade deve ser executada.

Figura 1 - Elementos de um rede



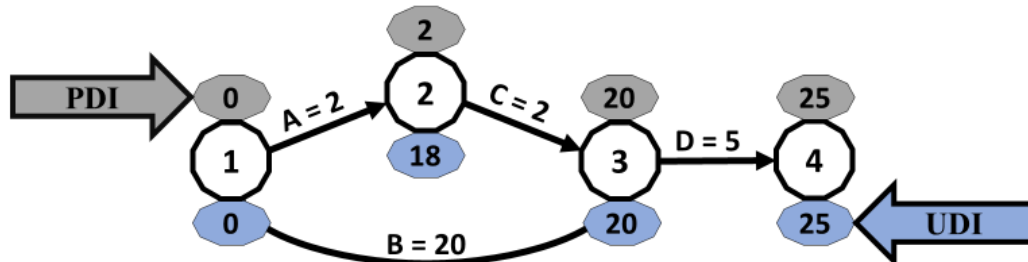
Fonte: Próprio Autor, 2019.

2.5 Elementos de uma rede de projeto – PDI e UDI

Primeira data de início ou PDI, representa o tempo acumulado em cada nó, somando o tempo da atividade com o acumulado do nó anterior, repetindo esse procedimento do primeiro até o último nó da rede. Vale ressaltar que, na condição de duas ou mais atividades culminarem num mesmo nó, considera-se sempre a de maior valor.

Última data de início ou UDI, representa o tempo máximo de execução que cada nó possui, partindo sempre do último nó (com o mesmo valor obtido do PDI) e subtraindo com o tempo da atividade do nó anterior, repetindo esse procedimento até o primeiro nó. Vale ressaltar que, na condição de duas ou mais atividades culminarem num mesmo nó, considera-se sempre a de menor valor até chegar a zero. Conforme Figura 2.

Figura 2 - PDI e UDI

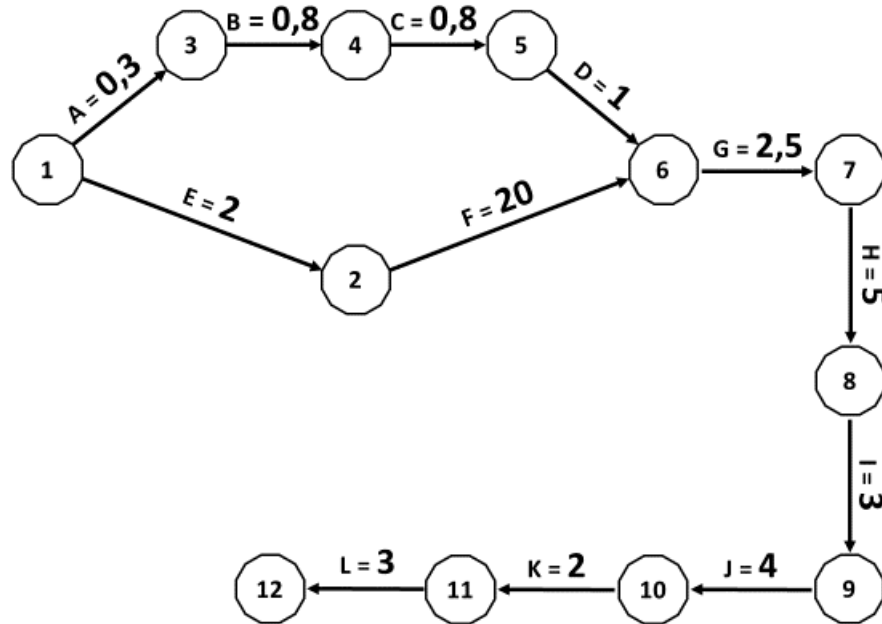


Fonte: Próprio Autor, 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados obtidos relativos aos tempos de execução de cada atividade (TABELA 4), bem como pela representação do projeto com as atividades envolvidas, foi elaborada a rede do projeto de montagem da tampa de inspeção (FIGURA 3).

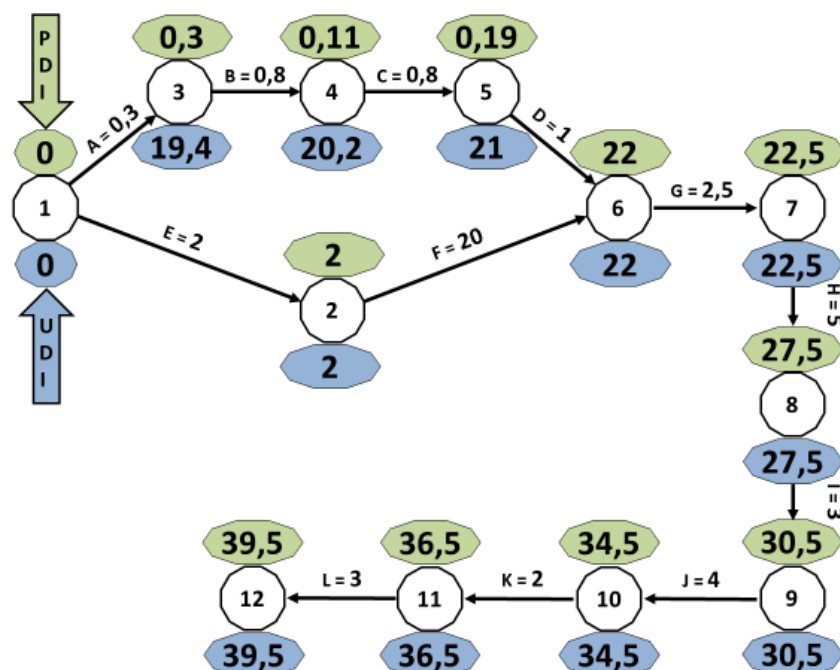
Figura 3 – Representação do projeto com atividades e tempos envolvidos na montagem



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Na Figura 4, tem-se a primeira data de início (PDI) e a última data de início (UDI) de cada uma das atividades, informações essas, fundamentais para determinar qual(is) caminho(s) é(são) crítico(s), ou seja, aquele(s) que não apresenta(m) folgas na sequência de atividades a serem executadas.

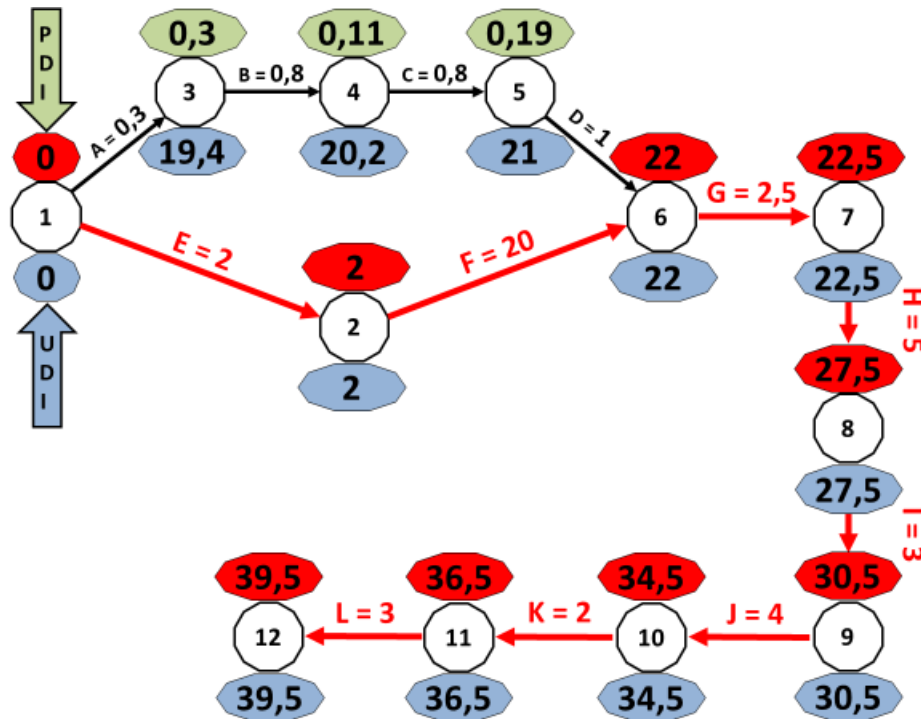
Figura 4 – Representação das atividades com PDI e UDI



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Com as PDI's e UDI's calculadas, é possível observar que o caminho crítico da rede deriva das atividades E, F, G, H, I, J, K, L, conforme Figura 5.

Figura 5 – Representação do caminho crítico da rede



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Analisando o processo completo de fabricação da tampa de inspeção na célula, foi possível detectar algumas oportunidades de melhoria permitindo assim, reduzir o elevado tempo de 39,5 minutos para 33,5 minutos, conforme será demonstrado na sequência deste trabalho.

Conforme ilustrado na figura anterior, o caminho crítico é aquele que não possui folgas, portanto, permite observar em qual etapa do processo é possível analisar e elaborar uma proposta de melhoria, como segue:

$$1^{\circ}) A + B + C + D + G + H + I + J + K + L = 22,4 \text{ minutos}$$

$$2^{\circ}) E + F + G + H + I + J + K + L = 39,5 \text{ minutos (crítico)}$$

Observando as atividades do segundo ramo, foi detectado que a atividade E (cortar matéria-prima), no caso, os tubos que compõe a estrutura da tampa, se tratava de um processo que não deveria ser executado pela célula e tampas. Assim, houve um alinhamento com o departamento de Engenharia de Processos, setor de apoio à produção, no qual definiu-se que, para uma maior eficiência, esse processo em específico fosse destinado à uma outra célula da

empresa, responsável por fracionar toda matéria-prima de acordo com uma ordem de produção elaborada pelo departamento de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP). Portanto, a atividade E, que possuía 2 minutos de duração, foi eliminada da rede.

Nesse mesmo sentido, um estudo apresentado por Freire et al. (2017), aponta a importância do planejamento em realocar os recursos disponíveis, a fim de garantir o prazo para conclusão do projeto.

Com isso, a mão de obra da célula destinada pela atividade, passou a executar uma função de apoio no processo de soldagem, atividade F, no qual o colaborador abastece, previamente, um armazém instalado próximo à bancada de soldagem, contribuindo assim, na redução do oneroso tempo dedicado a essa atividade.

Inicialmente, o próprio colaborador se deslocava até o local de armazenagem dos componentes necessários para soldar a estrutura da tampa, somado a isso, o gabarito carecia de um dispositivo adequado para a soldagem do conjunto, obrigando assim, o colaborador a posicionar os componentes da forma que melhor lhe convinha. Dessa forma, após reuniões com o setor de Métodos e Processos, responsável pela criação e manutenção dos gabaritos, foi possível realizar ajustes no gabarito atual e, também, a elaboração de uma instrução técnica sobre a melhor sequência de montagem dos componentes a serem soldados no gabarito.

Após treinamentos e um breve período de adaptação do colaborador, o tempo dessa atividade reduziu de 20 para 16 minutos, otimização de, aproximadamente, 20%. Colaborando, Oliveira et al. (2017), obtiveram uma otimização de 59% após observarem, por meio aplicação da técnica CPM, onde a mão-de-obra alocada para determinada atividade era insuficiente, gerando gargalo no processo produtivo.

Outro ponto de melhoria foi em relação à atividade I (montar trinco) que, dos 3 minutos de duração, 2 minutos eram dedicados ao posicionamento e marcação da base de fixação para então, serem realizados 6 furos necessários para montagem do trinco. Sendo assim, em comum acordo com os departamentos de Engenharia e Produção, foi substituído o parafuso de fixação que, até então, era um sextavado, por um intitulado auto-travante com ponta broca, permitindo, assim, que essa atividade fosse realizada em apenas 1 minuto. Portanto, a duração da atividade foi reduzida em 66%.

Como resultado, em comparação com a rede de projetos inicial, eliminou-se a atividade “E” e, também, as atividades “F” e “I” tiveram seus respectivos tempos otimizados. No geral, o tempo total para confecção da tampa era 39,5 minutos e, após aplicação da técnica, obteve-se uma redução para 33,5 minutos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Pelícia e Tarrento (2015), em estudo realizado no processo de fabricação de portas pantográficas, onde alcançaram uma redução de 4,94 minutos em uma das atividades em que não se permitia folga.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, buscou-se demonstrar nas Tabelas 5 (itens destacados em vermelho), 6 (itens destacados em verde) e em um gráfico de coluna um comparativo entre o antes e depois da técnica aplicada na célula objeto de estudo.

Tabela 5 – Duração das atividades antes da aplicação da técnica CPM

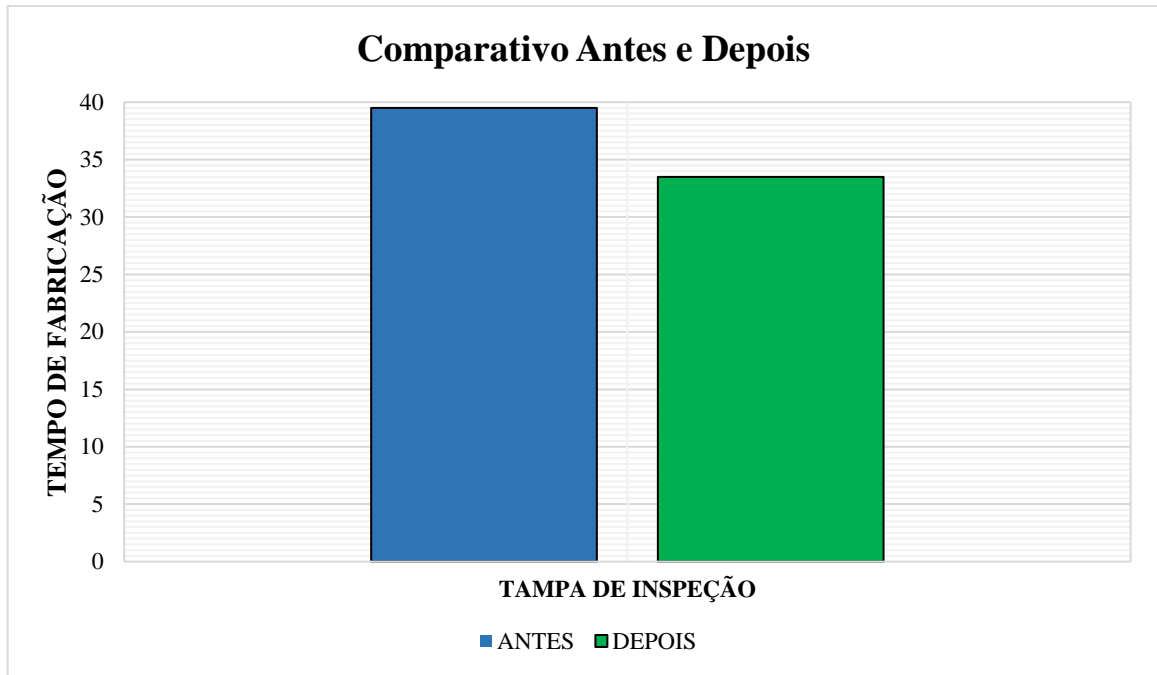
ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO (MIN.)
A	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	0,3
B	RECORTE PARA ALÍVIO (4X)	0,8
C	DOBRAR (4X)	0,8
D	RECORTE PARA PUXADOR	1
E	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	2
F	SOLDAR CONJUNTO	20
G	APLICAR ESPUMA	2,5
H	REBITAR CHAPEAMENTO	5
I	MONTAR TRINCO	3
J	MONTAR HASTE	4
K	MONTAR PUXADOR	2
L	MONTAR FECHADURA	3

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Tabela 6 – Duração das atividades após aplicação da técnica CPM

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO (MIN.)
A	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	0,3
B	RECORTE PARA ALÍVIO (4X)	0,8
C	DOBRAR (4X)	0,8
D	RECORTE PARA PUXADOR	1
E	CORTAR MATÉRIA-PRIMA	0
F	SOLDAR CONJUNTO	16
G	APLICAR ESPUMA	2,5
H	REBITAR CHAPEAMENTO	5
I	MONTAR TRINCO	1
J	MONTAR HASTE	4
K	MONTAR PUXADOR	2
L	MONTAR FECHADURA	3

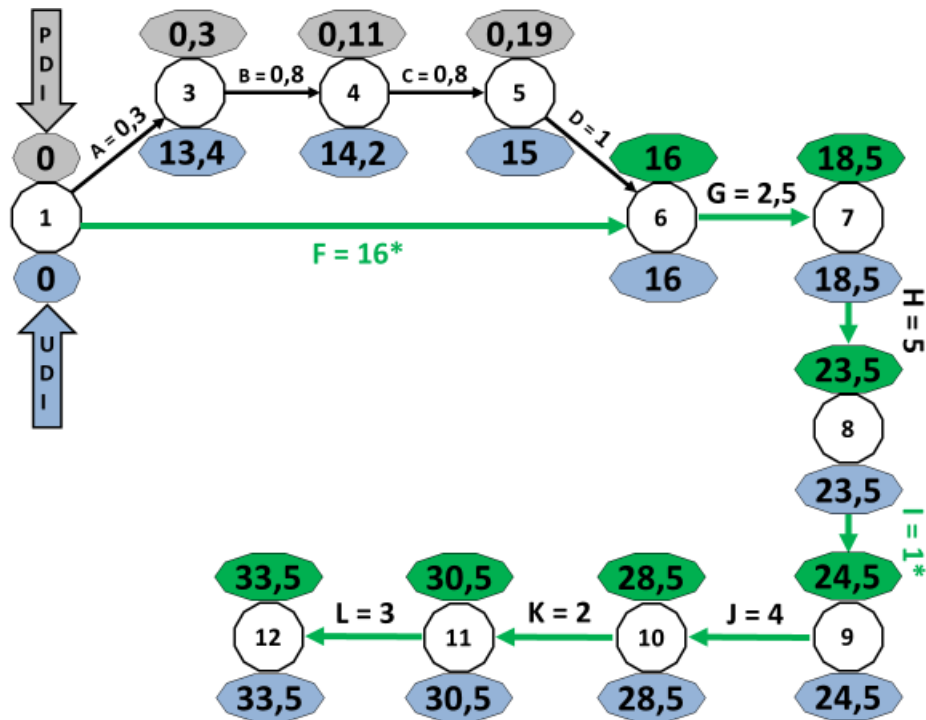
Fonte: Próprio Autor, 2019.



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Com a eliminação de uma das atividades e redução do tempo de outras duas, montou-se uma nova rede de projeto atualizada, conforme Figura 6.

Figura 6 - Configuração final da rede



Fonte: Próprio Autor, 2019.

Portanto, com base na Figura 6, é possível observar que com a nova configuração no sequenciamento das atividades, a nova configuração da rede apresentou uma redução bastante significativa no tempo total para a fabricação do conjunto analisado. A atividade “E” foi excluída da rede (realocada em outra célula dedicada), a atividade “F”, que antes durava 20 minutos, passou a ser executada em 16 minutos e, por fim, a atividade “I” teve seu tempo reduzido para 1 minuto.

Assim, após algumas análises e propostas de melhoria discutidas com as partes interessadas, muito esforço e comprometimento com os envolvidos, foi possível a obtenção de um excelente resultado no que se refere à gestão de materiais, pessoas e do projeto.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o método determinístico CPM promoveu uma análise de todos os processos envolvidos na fabricação do conjunto estudado, bem como a possibilidade de expor para as áreas de apoio da célula o quanto pequenos ajustes podem influenciar positivamente no *lead time* do produto.

Com auxílio da ferramenta CPM, foi observada não somente uma otimização significativa na duração total da fabricação da tampa de inspeção, de 39,5 para 33,5 minutos, mas também importância de alocar devidamente a mão de obra para atividades que necessitam de um apoio mais presente, no caso o processo de soldagem que sempre será a atividade de maior duração da rede, ou seja, influenciará diretamente no caminho crítico.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, T. R.; PIERRE, F. C.; TARRENTO, G. E.; JOAQUIM JR., C. F. Utilização das técnicas PERT-CPM para redução do prazo de entrega: Estudo de caso em uma indústria automobilística. **Revista Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.3, n.3, novembro 2012. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/download/162/147>>. Acessado em: 18 mar. 2018.

BORGES JR., D. M. Aplicação do PERT/CPM para o planejamento da produção: Estudo de caso em uma indústria cerâmica. **Revista Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.7, n.3, dezembro 2016. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/view/410/277>>. Acessado em: 18 mar. 2018.

FREIRE, R. O.; ECKARDT, M.; SILVA, N. A. Elaboração da rede PERT/CPM em uma empresa de estofados na cidade de Paraíso do Tocantins: Um estudo de caso. In: **XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP**, Anais... Joinville (SC), outubro 2017.

GAITHER, N. FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2002. 93p.

KRAJEWSKI, L. RITZMAN, L. MALHOTRA. M. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 183p.

MARTINS P. G, LAUGENI F. P. **Administração da Produção**. 2 ed. – São Paulo: Saraiva, 2005

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004

OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA JR., I. O.; BARBOSA, M. R. R.; MORAES, J. A.; SANTANA, G. S. P. Aplicação das ferramentas do planejamento e controle da produção em uma prestadores de serviços de higienização de carros na cidade de Marabá-PA. In: **XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO - ENEGEP**, Anais... Joinville (SC), outubro 2017.

PEINADO J., GRAEML A. R. **Administração da Produção: operações industriais e serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007

PELÍCIA, D. L. D.; TARRENTO, G. E. Utilização das técnicas CPM no processo de fabricação de portas pantográficas de uma empresa automotora. **Revista Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.6, n.1, junho 2015. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/view/340/236>>. Acessado em: 18 mar. 2018.

SILVA, A. A.; XAVIER, A. S.; SILVA, J. K.; BATISTA, T. L.; JANUARIO, T. L. S. Identificação do caminho crítico em uma indústria de calçados através das ferramentas cronoanálise e PERT/CPM. In: **XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO - ENEGEP**, Anais... Joinville (SC), outubro 2017.

SLACK, S. [et. al.] **Administração da Produção**. 1 ed. - São Paulo: Ed Atlas, 2011