

**GABRIEL BALDIN GUIACHETTO**

**Estudo de caso sobre redes de precedência na indústria aeroespacial**

Guaratinguetá  
2022

**Gabriel Baldin Guiachetto**

**Estudo de caso sobre redes de precedência na indústria aeroespacial**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

Guaratinguetá  
2022

G943e	Guiachetto, Gabriel Baldin Estudo de caso sobre redes de precedência na indústria aeroespacial / Gabriel Baldin Guiachetto – Guaratinguetá, 2022. 33 f : il. Bibliografia: f. 32-33  Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022. Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon  1. Indústria aeroespacial. 2. Processo decisório. 3. Sistema de informação gerencial. I. Título.  CDU 65.012.4
-------	---

Luciana Máximo  
Bibliotecária CRB-8/3595

**GABRIEL BALDIN GUIACHETTO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO(A) EM ENGENHARIA DE MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



Prof. Dr. JOSÉ VITOR CANDIDO DE SOUZA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. JORGE MUNIZ JUNIOR  
UNESP-FEG



Eng. Me. CLÁUDIO MÁRCIO DO AMARAL SOUZA  
Membro Externo

Aos grandes mestres, pais, amigos e pessoas amadas, que auxiliaram na jornada, dedico este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial ao Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon pela orientação deste trabalho, auxílio de como torna-lo melhor e pelos conhecimentos passados durante as aulas, os quais ajudaram e continuam ajudando muito na vida profissional.

Ao Prof. Dr. Jorge Muniz Júnior pela participação na banca examinadora e pelas valiosas informações passadas com a finalidade de tornar este trabalho melhor.

Ao Eng. Me. Cláudio Márcio do Amaral Souza também pela participação na banca examinadora e grandes contribuições para que este trabalho seja escrito da melhor maneira.

A todos vocês o meu muitíssimo obrigado!

## RESUMO

O seguinte estudo se dá dentro de uma das plantas de uma empresa do ramo aeroespacial, onde foi proposto o desenvolvimento de uma dashboard no software Power BI, com o intuito de atribuir a cada um dos centros de trabalho da empresa uma carga horária de trabalho e como essas cargas são passadas de um CT (centro de trabalho) para outro, mostrando assim as relações entre os mesmos. Os objetivos da dashboard são: encontrar gargalos na produção, avaliar impacto nas paradas de máquinas, mostrar refluxos de PNs (part numbers) nos CTs, permitindo ao planejamento da produção a tomada de decisões rápidas e precisas para o contorno de possíveis problemas. As colunas foram programadas utilizando a linguagem DAX (data analysis expressions) e testes na lógica foram feitos para comprovar a eficácia da mesma. Também foi desenvolvido um estudo de caso envolvendo a utilização da rede de precedência para descobrir refluxo (auto-alimentação) dos CTs fábrica, otimizar a sequência de operações de fabricação de um dos PNs da empresa era processado no CT 1400, melhorando o desempenho do centro de trabalho e também diminuindo o lead time do PN em 5,02 dias, de acordo com a cronoanálise realizada. Dessa forma, reduzindo custos, aumentando o desempenho dos processos e, conseqüentemente, a competitividade da empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede. Precedência. Produção. Otimização. Redução.

## **ABSTRACT**

The following study takes place within one of the plants of an aerospace company, where the development of a dashboard in Power BI software was proposed, with the aim of assigning to each of the company's work centers a workload and how these charges are passed from one work center to another, thus showing the relationships between them. The objectives of the dashboard are: finding bottlenecks in production, evaluating the impact of machine stoppages, showing PN (part number) backflows in the work centers, allowing production planning to make quick and accurate decisions to overcome possible problems. Columns were programmed using the DAX (data analysis expressions) language and logic tests were made to prove its effectiveness. A case study was also developed involving the use of the precedence network to discover backflow (self-supply) of factory CTs (work centers), optimizing the sequence of manufacturing operations of one of the company's PNs that was processed in CT 1400, improving center performance and also reducing the PN lead time by 5.02 days, according to the time analysis. Thus, reducing costs, increasing process performance and, consequently, the company's competitiveness.

**KEYWORDS:** Diagram. Precedence. Production. Optimization. Reduction



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico.....	17
Figura 2 – Ilustração da lógica construída para a rede de precedência.....	21
Figura 3 – Visualização geral da dashboard.....	23
Figura 4 – Representação clássica do diagrama de rede de precedência.....	24
Figura 5 – Ilustração da auto alimentação do CT 1400.....	27
Figura 6 – Atendimento ao ciclo.....	29
Figura 7 – Horas de trabalho acumuladas CT1400.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo dos CTs escolhidos para teste da lógica.....	22
Tabela 2 – Roteiro de fabricação indicando operações seguidas no mesmo CT.....	27
Tabela 3 – Comparação dos métodos de produção com tempos.....	28

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>CMD</b>	Carga média diária
<b>CPM</b>	Critical Path Method
<b>CT</b>	Centro de Trabalho
<b>DAX</b>	Data Analysis Expressions
<b>FIFO</b>	First in first out
<b>IBM</b>	International Business Machines Corporation
<b>PCP</b>	Planejamento e controle da produção
<b>PERT</b>	Program Evaluation Review Technique
<b>PMBOK</b>	Project Management Body of Knowledge
<b>PN</b>	Part Number
<b>WIP</b>	Work in Process

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	Considerações iniciais.....	15
1.2	Motivação e objetivos do trabalho.....	16
1.3	Metodologia e estrutura de texto.....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	Desenvolvimento.....	18
2.1.1	Revisão da literatura.....	18
2.1.2	Proposição.....	18
2.1.3	Metodologia.....	18
2.2	Histórico do método do diagrama de precedência.....	23
2.3	Definições do método do diagrama de precedência.....	25
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>27</b>
3.1	Caso estudado.....	27
3.2	Hipóteses levantadas.....	27
3.3	Condução do caso.....	28
3.3.1	Situação anterior.....	28
3.3.2	Proposição do novo método de produção.....	28
3.3.3	Situação alcançada.....	29
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A indústria aeronáutica encontra-se situada em um ramo de constante evolução tecnológica e precisão na fabricação de seus componentes. Tal ambiente torna a qualidade dos produtos uma característica de extrema importância para a sobrevivência da empresa perante o mercado e suas concorrentes.

De acordo com Teng et al. (2006). O objetivo de uma empresa é a satisfação dos clientes que usufruem de seus produtos, dessa forma obtém lucros e aumentam sua parcela no mercado em que estão inseridas.

Dessa forma, a qualidade do produto a ser entregue é de suma importância e a disputa entre concorrentes obriga as empresas a cortar custos, fornecer produtos de alta qualidade e aumentar o desempenho de seus processos.

O planejamento e controle da produção de maneira objetiva e eficaz são fundamentais para uma empresa de grande porte, permitindo que haja clareza nas tomadas de decisão e melhor gerenciamento de situações adversas que possam vir a ocorrer.

De acordo com Leão (2021). É atividade do PCP (planejamento e controle da produção) garantir que uma indústria esteja produzindo da melhor maneira possível os melhores produtos possíveis e da forma como planejado anteriormente. Dessa forma a empresa se mantém organizada e competitiva.

Dentre os objetivos do PCP, podemos citar:

- Planejamento e controle da produção de forma eficaz;
- Organização de matérias-primas
- Melhora o fluxo de materiais na linha de produção;
- Contribui para a redução no investimento em inventário;
- Permite que os gestores tomem decisões mais assertivas;
- Otimiza a produtividade de máquinas e equipamentos;
- Ajuda a monitorar e controlar o desempenho da produção;
- Reduz perdas na produção e desperdícios em geral;
- Diminui os custos operacionais da empresa;
- Ajuda a manter o nível de estoque em níveis ideais;
- Otimiza o período de produção e ajuda a manter o tempo de produção;
- Aumenta a qualidade dos produtos fabricados;

- Reduz o tempo ocioso;
- Otimiza a capacidade produtiva da empresa;
- Organiza cronogramas de produção da fábrica;

Respondendo perguntas como “quando produzir?” “em qual ordem se deve produzir?” e “quanto produzir?” o PCP atinge os objetivos acima, aliando conhecimentos empíricos adquiridos no ambiente fabril e com auxílio de ferramentas.

Todas as ferramentas utilizadas pelo planejamento e controle da produção visam o crescimento saudável e sólido da empresa e a rede de precedência é uma das formas de visualizar onde problemas podem acontecer e formar planos de ação para os mesmos.

## **1.2 Motivação e objetivos do trabalho**

A vivência no ambiente industrial e na área de planejamento da produção mostra a importância do controle e do gerenciamento eficiente dos processos produtivos. Dessa forma, ferramentas e indicadores são desenvolvidos para que se tenha informações de forma rápida e precisa de modo a auxiliar nas tomadas de decisão que influenciam toda a dinâmica da fábrica.

Dentro deste contexto, sentiu-se a falta de uma ferramenta que mostrasse com clareza as relações existentes entre as operações produtivas desenvolvidas dentro da fábrica.

Tendo tais pontos como motivação, a ferramenta que foi desenvolvida para o contexto da empresa e para explicitar tais relações, é a rede de precedência.

Dentre os objetivos deste trabalho estão as seguintes explicitações: do desenvolvimento de uma ferramenta de rede de precedência, da validação da lógica e da organização da mesma em uma dashboard intuitiva para os usuários e também a condução de um estudo de caso dentro da empresa, utilizando a rede de precedência para a descoberta de novas informações no processo produtivo.

## **1.3 Metodologia e estrutura do texto**

Dentre as categorias existentes de métodos de pesquisa, está o estudo de caso. Onde é definido por Yin (2001). como uma investigação experimental de um fenômeno dentro de seu contexto, quando os limites do mesmo não estão claramente definidos.

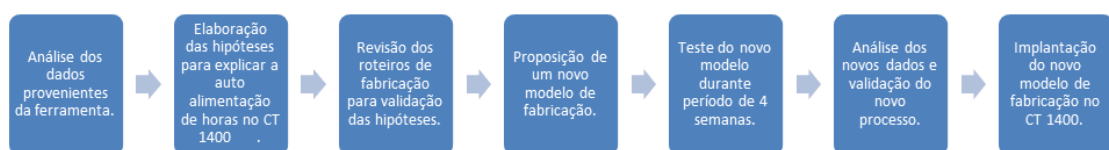
De maneira complementar, Martins (2015). também discorre sobre o estudo de caso, dizendo que o método é revelador, mostra perspectivas sobre o estudo que não foram abordadas anteriormente, mostrando-se como uma descoberta.

O presente trabalho possui características de um estudo de caso, pois busca aumentar o entendimento e mostrar características ainda sem total clareza sobre os processos produtivos desenvolvidos dentro da empresa, fazendo uma análise aprofundada dos mesmos.

Cauchick (2019). discorre sobre a finalidade do estudo de caso. Mesmo que seja parte de uma etapa exploratória de um projeto ou pesquisa, esta metodologia não deve tocar somente a superfície do problema explorado.

Considerando a metodologia de pesquisa exposta pelos autores acima, os próximos capítulos deste trabalho, como indicados no fluxograma da figura 1, tratarão de contextualizar os motivos os quais levaram ao desenvolvimento do estudo de caso a partir da ferramenta criada, mostrando em detalhes a lógica por trás da rede de precedência, incluindo sua validação, os dados inicialmente possuídos, bem como aqueles coletados posteriormente pelo estudo e também os resultados obtidos pelas mudanças realizadas a partir das evidenciações feitas por este trabalho.

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Desenvolvimento**

#### **2.1.1 Revisão de literatura**

De acordo com Slack (2013). projetos que não são bem documentados podem ser interpretados de diferentes formas por diferentes pessoas ao longo do tempo. O que leva a confusões, e, conseqüentemente, dificulta a execução do mesmo.

Também segundo Slack (2013). todo projeto deve ter uma precedência mapeada, para que se saibam quais etapas vêm antes e se possa ter um mapa claro do que deve ser feito.

“O diagrama de precedência é uma técnica eficiente para apresentar todos os relacionamentos que existem entre as várias atividades de um projeto. [...] esse é um método que faz parte das melhores práticas do PMBOK (2000).” (Project Management Body of Knowledge).

#### **2.1.2 Proposição**

Este trabalho se propõe a desenvolver de uma dashboard no software Power BI para visualizar o caminho o qual os PNs (part numbers) fazem entre os CTs (centros de trabalho) da fábrica, mostrando também a carga média diária que cada uma das máquinas passa para suas respectivas sucessoras e recebem de suas respectivas predecessoras. Desta forma pode-se entender e descobrir com mais eficiência onde se encontram os gargalos da produção, rotas alternativas para CTs que se encontram com menos carga de trabalho, impacto de paradas (planejadas ou não) das máquinas, estudo mais eficiente de segregação de máquinas dentro de um CTs para operações mais significativamente pesadas em relação à carga horárias, melhor entendimento do roteiro de fabricação dos PNs como um todo, evidências claras e rápidas de refluxo de PNs em CTs, entre outras.

#### **2.1.3 Metodologia**

Como fonte do dashboard, foi utilizada uma base de dados já existente chamada “Exporta Carga”, a qual contém, entre outras informações, os tempos (em horas) que as peças permanecem realizando as operações de transformação em cada uma das máquinas



durante o processo de produção das mesmas. Informações essas provenientes dos roteiros de fabricação presentes no sistema SAP da empresa.

Nessa base foi criada, por meio da linguagem de programação DAX (data analysis expressions) do software Power BI, uma lógica que segrega e atribui uma carga média diária de trabalho a cada um dos CTs da fábrica e, quando selecionado um CT específico o qual se deseja ter informações, essas cargas são disponibilizadas de tal maneira onde se podem visualizar quais CTs estão fornecendo horas de trabalho (e quantas horas são fornecidas) e para quais CTs este selecionado está repassando sua carga horária.

A lógica utilizada para a construção da dashboard é exposta e explicada a seguir:

- **CT ANTERIOR:** IF([ORIGEM]=BLANK(),BLANK(),IF([ORIGEM]=[ORIGEM ANTERIOR],LOOKUPVALUE(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[CT],CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[Index.1],[Index]),BLANK()))
- **DESCRIÇÃO CT ANTERIOR:** LOOKUPVALUE('CKP\_ELEB\_CTS\_TIPO (2)'[DESCRICAÇÃO],'CKP\_ELEB\_CTS\_TIPO (2)'[CT],[CT ANTERIOR])
- **CMD CT ANTERIOR:** SUMX(FILTER(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA,[CT]=EARLIER([CT]) && [CT ANTERIOR]=EARLIER([CT ANTERIOR]) && [ULT\_INICIO]<DATE(YEAR(TODAY()+1),MONTH(TODAY()),DAY(TODAY()))),[HORAS])/(12\*20)
- **CMD CT DESTINO:** SUMX(FILTER(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA,[CT]=EARLIER([CT]) && [CT DESTINO]=EARLIER([CT DESTINO]) && [ULT\_INICIO]<DATE(YEAR(TODAY()+1),MONTH(TODAY()),DAY(TODAY()))),[HORAS])/(12\*20)
- **DESCRIÇÃO CT DESTINO:** LOOKUPVALUE('CKP\_ELEB\_CTS\_TIPO (2)'[DESCRICAÇÃO],'CKP\_ELEB\_CTS\_TIPO (2)'[CT],[CT ANTERIOR])
- **CT DESTINO:** IF([ORIGEM]=BLANK(),BLANK(),IF([ORIGEM]=[ORIGEM POSTERIOR],LOOKUPVALUE(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[CT],CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[Index],[Index.1]),BLANK()))
- **HORAS CT ANTERIOR:** IF([ORIGEM]=BLANK(),BLANK(),IF([ORIGEM]=[ORIGEM ANTERIOR],LOOKUPVALUE(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[HORAS],CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[Index.1],[Index]),BLANK()))
- **HORAS CT DESTINO:** IF([ORIGEM]=BLANK(),BLANK(),IF([ORIGEM]=[ORIGEM

POSTERIOR],LOOKUPVALUE(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[HORAS ],CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA[Index],[Index.1]),BLANK()))

- **CMD (Carga média diária):**  
SUMX(FILTER(CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA,[ULT\_INICIO]<DATE(YEAR(TODAY()+1),MONTH(TODAY()),DAY(TODAY()))),[HORAS])/(12\*20)

Cada um dos tópicos acima refere-se à criação de uma coluna programada dentro do Power BI, com seus respectivos códigos.

Para começar uma explicação mais detalhada da lógica, devem-se expor alguns conceitos da linguagem de programação utilizada no Power BI.

As colunas Index citadas nos códigos acima dizem respeito às colunas de índice, ou seja, colunas auxiliares que atribuem valores de posição para os valores das linhas, de forma crescente. Pode ser iniciada do 0, do 1 ou também de uma posição customizada pelo programador. No caso da lógica acima, a coluna Index começa da posição 0 e a Index.1 começa da posição 1.

As colunas Index e Index.1 foram utilizadas para a criação das colunas ORIGEM e ORIGEM ANTERIOR, as quais organizam os CTs em ordem de acordo com suas próprias denominações numéricas.

A coluna CT presente na base vem diretamente do sistema SAP da empresa.

Com os pontos expostos acima, se pode explicar com um pouco mais de detalhes como a programação utilizada funciona.

A lógica por trás da coluna CT ANTERIOR faz uma procura pela informação na coluna CT da base CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA, e traz o resultado (a denominação numérica própria do CT) atrelado a uma condicional. Somente trazer a denominação numérica do CT caso a coluna ORIGEM possua um valor, ou seja, ser igual à coluna ORIGEM ANTERIOR e não um valor em branco.

A lógica da coluna CT DESTINO é análoga à exposta no parágrafo anterior, diferenciando-se apenas pela inversão na ordem de procura, mostrada pela inversão das colunas auxiliares Index.1 e Index, respectivamente.

As colunas de descrição dos CTs também possuem códigos análogos, onde se pede para ser realizada uma procura pelos nomes dos centros de trabalho na coluna DESCRIÇÃO da base CKP\_ELEB\_CTS\_TIPO (2) e traga este nome para a base CKP\_GDA\_EXPORTA\_CARGA, através da relação coluna CT presente nas duas bases.

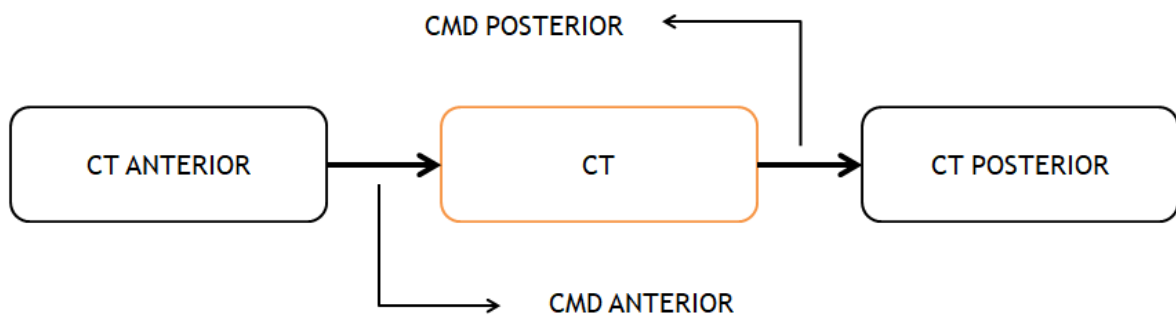
A coluna CMD nos retorna a carga média diária que cada centro de trabalho possui, sua lógica traz uma soma de acordo com uma condição para que a carga horária seja contada até o dia da comparação, ou seja, somar as horas das operações dos PNs que passam pelos CTs onde se inicia a operação antes do dia atual, indicado pelas comparações diretas de dia, mês e ano.

As colunas CMD CT ANTERIOR e CMD CT DESTINO também possuem lógicas análogas, onde se utiliza a expressão EARLIER para atribuir as horas aos CTs dentro do contexto.

Um ponto importante a ser ressaltado, é que a carga de trabalho passada é uma média diária, logo foi necessário a divisão por 20 dias úteis no mês e multiplicado por 12 meses no ano.

Em resumo, lógica faz com que os CTs da fábrica sejam ordenados automaticamente e quando um centro de trabalho específico for selecionado na dashboard, atribui-se a cada um dos anteriores e posteriores a este uma carga média, em horas, que é passada adiante para os outros centros de trabalho.

Figura 2 – Ilustração da lógica construída para a rede de precedência



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A lógica foi colocada à prova nos CTs 1931, 1700, 0693, os quais são centros de trabalho que possuem cargas médias diárias bem menos elevadas quando comparadas com outras máquinas e, dessa forma, seria possível fazer a soma das horas provenientes das informações do sistema SAP da empresa e confrontar os dados com aqueles mostrados no em uma visibilidade prévia do Power BI, como indica a tabela abaixo.

Tabela 1 - Resumo dos CTs escolhidos para teste da lógica

CT	Recebe (horas)	Quantidade (CTs)	Repassa (horas)	Quantidade (CTs)
1931	10,50	5	12	4
1700	27,00	4	36	4
0693	0,10	4	5	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Outra situação ocorrida ao acaso e corroborou para a validação da lógica foi a parada não planejada do centro de trabalho 1401 por conta de uma quebra onde a área de planejamento ficou responsável por tomar as medidas relativas a minimizar os impactos causados pela situação.

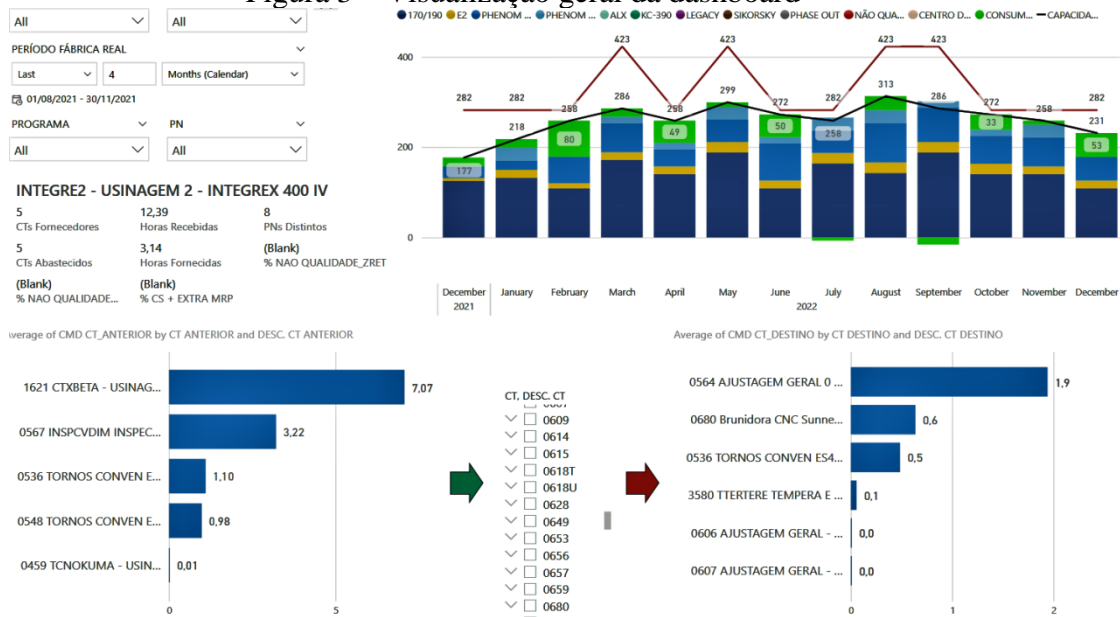
Foi observada em uma das dashboards que o CT possuía uma fila de horas de trabalho “no pé da máquina”, ou seja, de PNs os quais já estavam prontos para serem colocados no CT, no valor de 120 horas e a máquina ficaria parada durante 17 dias para a manutenção. Dessa forma, mais PN chegariam para serem operados no CT e usando a rede de precedência, chegou-se ao valor de aproximadamente 180 horas de trabalho acumuladas, além das 120 já ditas, totalizando 300 horas.

A lógica foi validada quando análises mais demoradas pelos roteiros dos PNs que estavam planejados naquele CT confirmaram 180,4 horas de acúmulo.

Com a lógica validada e com as informações corretas adquiridas, foi iniciada a construção do dashboard para reunir os dados. Para os centros de trabalho predecessores e sucessores foram escolhidos gráficos de barras (mostrando a carga em horas), juntamente com um filtro contendo todas as máquinas da fábrica. Dessa maneira, podemos selecionar um CT de interesse e ver as informações relativas a ele, como: número de peças que este recebe, de quais máquinas os mesmos vêm, para quais máquinas eles serão enviados. Um quadro também foi adicionado para que seja possível ver facilmente as informações citadas no parágrafo acima.

Vale ressaltar que a dashboard foge da representação clássica da rede de precedência, como apresentada na figura 3, porém seu intuito é o mesmo, procurando representar as relações entre diferentes etapas de um processo de forma lógica e de acordo com a ordem em que os mesmos ocorrem.

Figura 3 – Visualização geral da dashboard



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Neste mesmo relatório do Power BI também são encontrados outras informações, como: filas planejadas para cada uma das máquinas, horas de trabalho acumuladas, carga dividida pelos programas de fabricação, ou seja, a quantidade de horas relativa a cada modelo de avião fabricado pela empresa que passa por aquela determinada máquina.

Todas essas informações, juntamente com a rede de precedência em si auxiliam nas tomadas de decisão de todos os pontos expostos na seção de proposição do trabalho, caso a empresa se encontre em alguma dessas situações.

## 2.2 Histórico do método do diagrama de precedência

O método teve seu primeiro esboço em 1958 pelo engenheiro e professor do departamento de engenharia civil da universidade de Stanford, John W. Fondahl quando foi contratado para desenvolvimento de projetos para a marinha dos estados unidos.

Em seu artigo, Fondahl (1987) discorre sobre como o projeto poderia atingir uma redução de custos se utilizado um novo método de planejamento e também poderia ser quebrado em inúmeras atividades relacionadas entre si.

Cada uma das operações teria uma relação de custo-tempo, sendo que operações mais rápidas teriam um custo mais elevado e operações mais lentas, um custo menos elevado. Com uma combinação de taxas de desempenho que reduziria o custo geral do projeto.

Também segundo Fondahl (1987), o problema desenvolvido por ele já estava sendo

tratado, mesmo que com desconhecimento de sua equipe, por James E. Kelly e Morgan R. Walker, em 1959 na empresa duPont.

Foi intuitivo o uso de diagramas de fluxo, onde atividades eram representadas por círculos e suas relações, por setas que as conectavam. A este diagrama, Fondahl (1987) deu o nome de “diagrama de círculos e conectores”.

Em seu artigo Fondahl (1987), Também descreve os esforços dos pesquisadores James E. Kelly e Morgan R. Walker para o CPM (critical path method) e o desenvolvimento do PERT (Program Evaluation Review Technique), pelo escritório de projetos da marinha. De acordo com Fondahl (1987), a diferença entre os métodos era o modo como se classificava os componentes: No CPM, setas representavam as atividades e os nós representavam os eventos; no PERT, os nós representavam as atividades; já em seu projeto, Fondahl (1987), discorre que os nós representam as atividades, porém as linhas representam as relações entre as mesmas.

O nome diagrama de precedência veio em 1964, quando a empresa IBM anunciou o projeto de desenvolvimento do Sistema de Controle de Projetos para o computador 1440, baseado em um uso diferente do diagrama de flechas, com o nome análogo ao descrito acima. Como este era o sistema que estava utilizando, Fondahl (1987) descreve que incorporou o nome.

Ao longo dos anos, o método do diagrama de precedência foi incorporado a softwares e aprimorado cada vez mais, porém sua origem está sintetizada nos parágrafos acima.

### **2.3 Definições do método do diagrama de precedência**

O diagrama de precedência é uma maneira visual de se representar as atividades presentes na execução de um projeto. Incluída no PMBOK (2000) na seção de gerenciamento do tempo.

A seguir, são apresentados os 4 tipos de relações existentes dentro do diagrama de precedência:

- Término para início: A atividade predecessora deve terminar para que sua sucessora comece;
- Início para início: A atividade sucessora se inicia somente quando sua predecessora também se iniciar;
- Início para término: A atividade sucessora deve terminar somente quando a

predecessora começar;

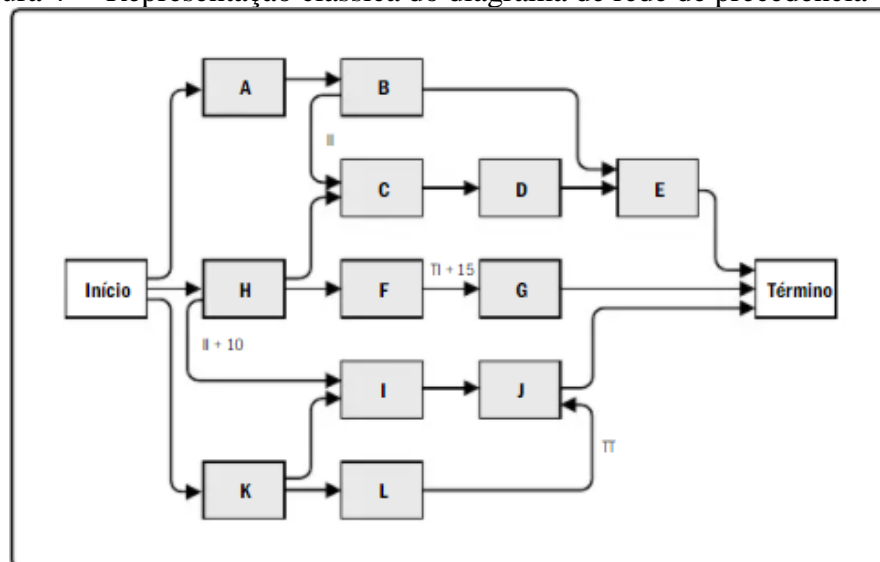
- Término para término: A atividade sucessora acaba somente quando a predecessora também acaba;

A seguir, são apresentados os tipos de dependência presentes no método do diagrama de precedência:

- Dependência interna: Dizem respeito ao projeto ou empresa;
- Dependência externa: Uma atividade que envolve o projeto vem de fora do ambiente onde o mesmo está sendo executado;
- Dependência obrigatória: Vem como uma exigência de contrato do projeto, por exemplo.
- Dependência arbitrária (lógica flexível): De controle da equipe do projeto, podendo ser alterada para uma conclusão mais rápida.

Para este projeto as atividades são do tipo término para início e dependências internas, obrigatórias e arbitrárias.

Figura 4 – Representação clássica do diagrama de rede de precedência



Fonte: PMBOK (2000).

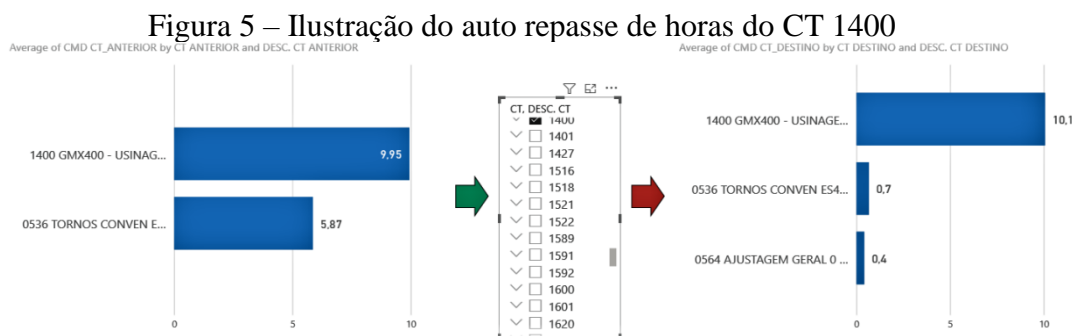
O próximo passo deste trabalho, o qual será mostrado na seção seguinte, é um estudo de caso, para que se possa colocar a prova o projeto e medir o grau de eficiência do mesmo nas atividades cotidianas da fábrica.

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Caso estudado

A investigação deste estudo de caso se inicia quando, analisando os dados apresentados pela rede de precedência, notou-se em alguns CTs um auto repasse de horas, ou seja, um determinado centro de trabalho repassava e recebia carga média diária para ele e dele mesmo, respectivamente, o que despertou certas dúvidas sobre os motivos os quais a informação se apresentar dessa forma.

O centro de trabalho do estudo em questão é o 1400, pelo qual passa um dos maiores e mais complexos PNs feitos na planta da empresa e um centro de trabalho com histórico de longas filas de trabalho acumuladas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 3.2 Hipóteses levantadas

A primeira hipótese levantada foi a de um erro na lógica por traz da rede de precedência, porém dados já haviam sido coletados, confrontados e os mesmos condiziam com a realidade do que se via na fábrica. Dados os quais também foram revistos e confirmados novamente.

A segunda hipótese levantada foi que algum (ou alguns) dos PNs fazia mais de uma operação dentro do mesmo centro de trabalho de maneira seguida, a qual acabou sendo validada após análise dos roteiros de fabricação, como mostra a tabela abaixo.

Por motivos de confidencialidade de algumas informações, a tabela abaixo foi modificada para que sejam mostradas apenas as informações relevantes ao estudo.



Tabela 2 – Roteiro de fabricação indicando operações seguidas no mesmo CT

PN	Operação	Centro de trabalho	Texto breve da operação	Execução (Horas)	Fila planejada
2317-5XXX	98	XXX	XXX	0	3
2317-5XXX	98	XXX	XXX	0	3
2317-5XXX	99	XXX	XXX	1,499	2
2317-5XXX	99	XXX	XXX	0	2
<b>2317-5XXX</b>	<b>100</b>	<b>1400</b>	<b>GMX400</b>	<b>4,100</b>	<b>5</b>
<b>2317-5XXX</b>	<b>102</b>	<b>1400</b>	<b>GMX400</b>	<b>31,000</b>	<b>5</b>
2317-5XXX	105	XXX	XXX	2,070	2
2317-5XXX	105	XXX	XXX	0	2
2317-5XXX	105	XXX	XXX	0	2
2317-5XXX	110	XXX	XXX	1,480	2
2317-5XXX	110	XXX	XXX	0	2
2317-5XXX	110	XXX	XXX	0	2
2317-5XXX	110	XXX	XXX	0	2
2317-5XXX	120	XXX	XXX	4,000	2
2317-5XXX	130	XXX	XXX	1,413	4

Fonte: Sistema SAP da empresa (2021).

### 3.3 Condução do caso

#### 3.3.1 Situação anterior

A análise dos roteiros de fabricação dos PNs, observações pessoais e conversas com operadores da fábrica confirmou a segunda hipótese levantada, onde dizia haver o processo de duas operações seguidas do PN na mesma máquina e ainda mostrou que essas operações, mesmo que seguidas no roteiro, não eram feitas seguidamente no CT. O PN em WIP (work in process) realizava a primeira operação prevista no roteiro, retornava para a fila planejada do centro de trabalho, outras peças passavam pela máquina e somente após todo esse processo o PN em questão retornava para a operação seguinte. Considerando que o CT possui uma configuração de FIFO (first in first out), tal situação não era ideal para esta etapa do processo de produção deste PN.

#### 3.3.2 Proposição do novo método de produção

Após a descoberta de tal fato, foi iniciada a análise dos gráficos de carga e capacidade do CT 1400, também da lista de PNs que passam por ele para entender se haveria possibilidade de alterar o método feito nessas operações.

O novo modelo, como mostrado na tabela 3, se propõe a fazer as duas operações de maneira seguida, sem retirar o PN da máquina para retorná-lo para a fila planejada do CT.

Constatado, pela rede de precedência, que, além do PN estudado, outros 3 também passam por essa máquina, porém a peça em questão é a mais complexa deste grupo.

Constatado também nos gráficos de carga e capacidade do CT que a maior parte da carga vem deste avião.

Dos estudos acima, tira-se a conclusão de que a mudança é possível, por se tratar de somente um PN de alta complexidade e de um CT com um número reduzido de peças que passam por ele.

Um teste piloto foi acertado para ocorrer durante quatro semanas. Considerando o takt (ritmo da produção para se atender a uma determinada demanda) deste PN na produção como sendo 3, ou seja, uma peça chega à máquina a cada 3 dias, em duas semanas 6 peças seriam feitas.

Os dados do teste piloto foram coletados e os resultados obtidos serão discutidos na sessão a seguir.

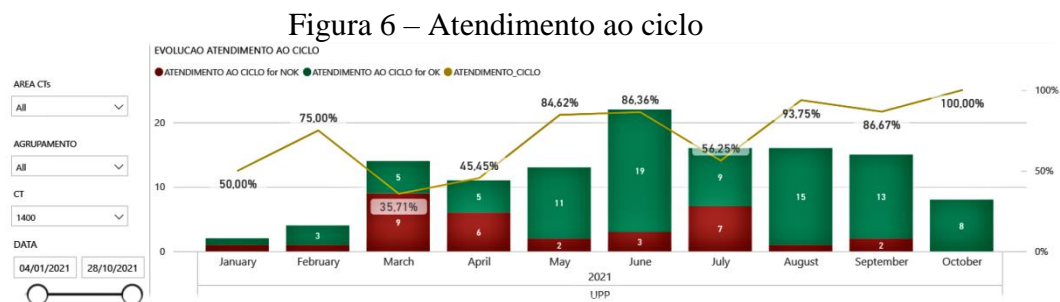
Tabela 3 – Comparação dos métodos de produção com tempos

Método anterior	Tempos	Método proposto	Tempos
Colocação do PN no CT	10 – 12 minutos	Colocação do PN no CT	10 – 12 minutos
Preparação do CT	5 – 6 minutos	Preparação do CT	5 – 6 minutos
Operação 100	4 horas	Operação 100	4 horas
Retorno à fila planejada	5 dias	---	---
Colocação do PN no CT	10 – 12 minutos	---	---
Preparação do CT	5 – 6 minutos	Preparação do CT	5 – 6 minutos
Operação 102	31 horas	Operação 102	31 horas
Total (horas)	155,53	Total (horas)	35,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.3.3 Situação alcançada

A análise dos dados posteriores ao período de testes e implantação do novo método de produção proposto no item anterior mostra uma melhora significativa da performance do CT em relação a períodos passados, como mostra a figura abaixo.

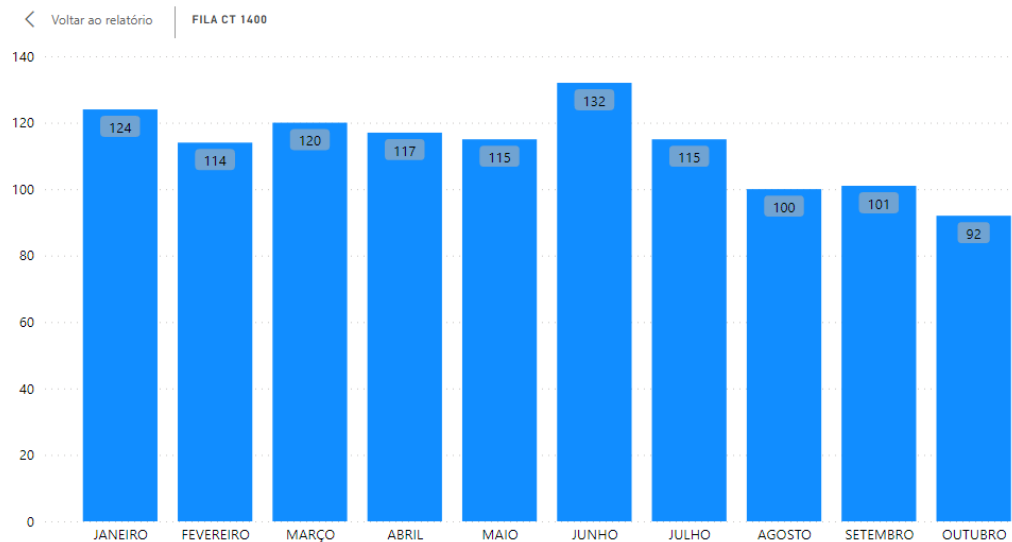


O período de implantação do projeto foi julho de 2021 e na figura acima se pode fazer uma média antes e após esse mesmo período para comparação dos resultados.

Antes da implantação, a média de atendimento ao ciclo era de 63,19% e após a implantação do projeto constata-se um aumento desse valor para 84,16% em apenas quatro meses com o novo modelo adotado.

Analisando também a fila de trabalho acumulada no centro de trabalho, apresentada pela figura 7, percebe-se uma notável melhora, demonstrada pela redução do valor em horas. Antes da implantação do novo método (julho), a média era de 120,3 horas acumuladas. Após a implantação do novo método de produção, encontramos um valor médio de 102 horas.

Figura 7 – Horas de trabalho acumuladas CT 1400



Fonte: Relatório Power BI de filas do CT 1400 (2021).

Este fato se deve a melhor organização da fila de produção, uma vez que o PN mais complexo do CT já está com as operações completas, outros PNs com operações e configurações de equipamento mais simples conseguem realizar suas operações com mais rapidez, uma vez que não são mais necessários tempos de retirada, colocação e setup da máquina para o mesmo PN mais de uma vez.

Outro resultado importante a ser discutido é a redução no lead time do PN em questão. Pelo fato do novo modelo adotado submeter o PN a duas operações seguidas, houve corte de 5 dias de fila do mesmo no CT e também economia de tempo na preparação da máquina, desde a colocação da peça até a programação do equipamento, as quais foram medidas durante os dias de experimentação e variavam de 10 a 12 minutos para colocar o PN no CT, de 5 a 6 minutos para preparar a máquina e mais 10 a 12 minutos para retirar PN do CT (totalizando de 25 a 30 minutos), havendo uma redução total de lead time de 5,02 dias.

Tais reduções nos tempos de fabricação do PN estudado e também a melhora significativa dos indicadores relacionados ao centro de trabalho impactam positivamente o processo de produção da fábrica como um todo e no andamento dos outros PNs entre as operações feitas nos centros de trabalho.

## 4 CONCLUSÃO

Concluem-se deste estudo os resultados esperados para a implantação com sucesso da rede de precedência, uma vez que a mesma entregou desfechos satisfatórios dentro daquilo que a ferramenta se propõe a fazer.

Dentre os objetivos deste trabalho, estavam explicitar: o desenvolvimento da ferramenta de rede de precedência, a lógica utilizada na programação da ferramenta, a construção de uma dashboard funcional, de fácil entendimento para aqueles que a utilizam e que contenha informações precisas e seguras para que sejam formadas conclusões coerentes com as situações as quais a ferramenta está sendo utilizada. Logo, pode-se dizer que estes objetivos foram alcançados.

Também era um objetivo realizar um estudo de caso para encontrar informações relevantes no processo produtivo da empresa que não possuíam clareza suficiente para serem estudadas com maiores detalhes, o que mostra o bom desempenho deste estudo de caso, onde não só foram encontradas novas informações as quais não haviam sido estudadas anteriormente, como também foi possível realizar alterações significativas para a empresa a partir dessas descobertas.

Outra conclusão que pode ser tirada do estudo explicitado neste trabalho é o funcionamento correto da ferramenta para os pontos os quais a mesma é apta a devolver dados e informações, como mostrado no estudo de caso envolvendo uma remodelagem no sistema como o PN era fabricado dentro de um dos CTs da fábrica. Estudo este que pode ser expandido para outras peças e outros centros de trabalho, buscando a melhoria contínua nos processos produtivos da fábrica.

Por fim, também se pode concluir que estes resultados são de grande importância para a empresa, pelos fatos expostos na introdução deste trabalho. Uma indústria deve se manter competitiva e reduções em tempos de fabricação implicam em redução de custos os quais, por sua vez, impactam diretamente o grau de competitividade da empresa dentro do ramo no qual está inserida. Oferecendo produtos e serviços de qualidade com preços competitivos e assegurando sua parcela do mercado.

## REFERÊNCIAS

CAUCHICK-MIGUEL, P. A. **Metodologia científica para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595150805/cfi/6/2!/4/4/2/2@0:0>. Acesso em: 22 jul. 2021.

FONDHAL, J. W. The history of modern project management. Precedence diagramming methods: origins and early development. **Project Management Journal**, v. 18, n. 2, p.33–36, 1982.

LEÃO, T. **PCP**: o que é o planejamento e controle da produção. 2021. Disponível em:

[https://www.nomus.com.br/blog-industrial/pcp/#:~:text=PCP%20\(Planejamento%20e%20Controle%20de,de%20acordo%20com%20o%20plano](https://www.nomus.com.br/blog-industrial/pcp/#:~:text=PCP%20(Planejamento%20e%20Controle%20de,de%20acordo%20com%20o%20plano). Acesso em: 30 ago. 2021.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia de conhecimentos do gerenciamento de projetos**: PMBOK Guide. Newtown Square: PMI, 2000. Disponível em:

<http://www.pmissp.org.br> . Acesso em: 06 abr. 2021.

SLACK, N. *et al.* **Gerenciamento de operações e processos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837934/cfi/1!/4/4@0:00:0.00>. Acesso em: 22 jul. 2021.

TENG, S. G. *et al.* Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.23, n. 2, p. 179 – 196, 2006.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Editora PINI, 2010.

MAXIMIANO, A. C. **Áreas do conhecimento em gerenciamento do projeto tempo**. 2010. Disponível em <https://slideplayer.com.br/slide/6101964/>. Acesso em: 01 nov. 2021.

POWER BI completo: do básico ao avançado. Disponível em: <http://www.udemy.com.br>. Acesso em: 12 jan. 2021.

WIKIPEDIA. **Precedence diagram method**. 2021. Disponível em [https://en.wikipedia.org/wiki/Precedence\\_diagram\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Precedence_diagram_method). Acesso em: 01 nov. 2021.