



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

THIAGO DE FRANÇA POGGI

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM PROJETOS: metodologia e aplicação em projetos de
linhas de *Body-in-White***

Recife

2022

THIAGO DE FRANÇA POGGI

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM PROJETOS: metodologia e aplicação em projetos de
linhas de *Body-in-White***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Heitor de Oliveira Duarte.

Recife

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

P746a Poggi, Thiago de França.
Avaliação de risco em projetos: metodologia e aplicação em projetos de linhas de body-in-white / Thiago de França Poggi. – 2022.
80 f.: il., fig., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Heitor de Oliveira Duarte.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Mecânica. Recife, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia mecânica. 2. Avaliação quantitativa de riscos. 3. Body-in-white. 4. Simulação de Monte Carlo. 5. Montadora de veículos. 6. Modelagem probabilística. I. Duarte, Heitor de Oliveira (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-356

THIAGO DE FRANÇA POGGI

**AVALIAÇÃO DE RISCO EM PROJETOS: metodologia e aplicação em projetos de
linhas de *Body-in-White***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 26/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. Heitor de Oliveira Duarte (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Paulo Gabriel Santos Campos de Siqueira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Adriano Dayvson Marques Ferreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos, dentro e fora da universidade, pelo apoio, incentivo e compreensão para a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Heitor de Oliveira Duarte pelas correções, orientações e ensinamentos que me permitiram apresentar este trabalho de conclusão de curso.

Agradeço à instituição Universidade Federal de Pernambuco pela disponibilização da estrutura e conhecimentos para que assim fosse desenvolvido este trabalho.

E por fim, agradeço aos grandes teóricos aqui citados, pela imensa influência que tiveram na preparação deste trabalho.

RESUMO

A indústria automotiva, em seu processo produtivo nas montadoras de veículos, se subdivide em etapas, onde se encontra o *body-in-white* (BiW) (i.e, etapa da produção em que se forma a carroceria). De modo a expandir o número de modelos diferentes a serem produzidos em uma fábrica, utiliza-se da estratégia de produção de veículos de diferentes modelos sob a mesma plataforma. Diante disso, projetos de inclusão de novos modelos no mix produtivo implicam em gerar modificações das linhas de produção e estão expostos a riscos relevantes. Com isso, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para avaliação quantitativa de riscos em projetos de *body-in-white* através da aplicação em um caso real em uma montadora de veículos no Brasil. A metodologia proposta tem cinco passos, i.e.: (i) identificar e avaliar qualitativamente os riscos envolvidos através da análise preliminar de riscos; (ii) avaliar a frequência desses riscos através da técnica *Program Evaluation and Review Technique* e da curva gaussiana, estimando uma faixa de probabilidade para o tempo necessário de se finalizar o projeto; (iii) avaliar as consequências e impactos destes riscos; (iv) quantificar e categorizar os riscos através da simulação de Monte Carlo de modo a estimar uma faixa de probabilidade de extracusto do projeto (i.e., custo extra além do esperado), bem como definir uma categoria de risco para o extracusto do projeto, auxiliando na decisão de quanto deve ser a reserva emergencial (i.e, valor monetário reservado para custear os riscos do projeto) e na comunicação dos riscos para as partes interessadas. Através da metodologia aplicada, foi possível verificar que, diante dos 66 cenários identificados, existe a probabilidade de 37% de o projeto se estender por mais de 200 dias, e que o projeto se encontra na categoria de risco Alto (i.e, mais de 20% de probabilidade do extracusto estar acima de 20% do custo esperado do projeto).

Palavras chaves: avaliação quantitativa de riscos; *body-in-white*; simulação de Monte Carlo; montadora de veículos; modelagem probabilística.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturas metálicas de uma carroceria soldada.	10
Figura 2 - Elementos para tomadas de decisões ambientais.....	12
Figura 3 - Estrutura analítica do projeto.	23
Figura 4 - PERT.....	24
Figura 5 - Fluxograma da metodologia do Avaliação de Riscos em Projetos Automotivos de Body-in-White.	25
Figura 6 – Curva S da análise quantitativa de Risco de Custo.....	30
Figura 7 - Curva S da metodologia AQRBiW.....	31
Figura 8 - Os três pilares comuns de uma carroceria e suas localizações no veículo.	32
Figura 9 – Layout para o projeto de montagem do pilar B.....	35
Figura 10 – Estrutura Analítica do Projeto.....	37
Figura 11 – Diagrama de rede simplificado.	40
Figura 12 – Distribuição normal do tempo de execução do projeto.....	46
Figura 13 - Histograma da frequência de extracustos.	53
Figura 14 – Curva S - probabilidade acumulada de extracusto do projeto.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise preliminar de riscos adaptada.....	19
Tabela 2 - Estrutura analítica de riscos.....	19
Tabela 3 - Matriz de probabilidade.	20
Tabela 4 – Matriz de classificação de severidade.....	20
Tabela 5 – Exemplo de uma Matriz de Riscos com 5 níveis de probabilidade e impacto.	21
Tabela 6 – Tabela de extracusto.	29
Tabela 7 - Tempo estimado para a realização das tarefas.	38
Tabela 8 – Estrutura Analítica de Custo do Projeto.	42
Tabela 9 – Elenco de tempos otimistas, prováveis e pessimistas do caminho crítico.....	45
Tabela 10 – Probabilidade de ocorrência de extracusto.	47
Tabela 11 – Impactos e probabilidades estimadas dos riscos.....	50
Tabela 12 - Intervalo de reserva emergencial recomendada	54

SUMÁRIO

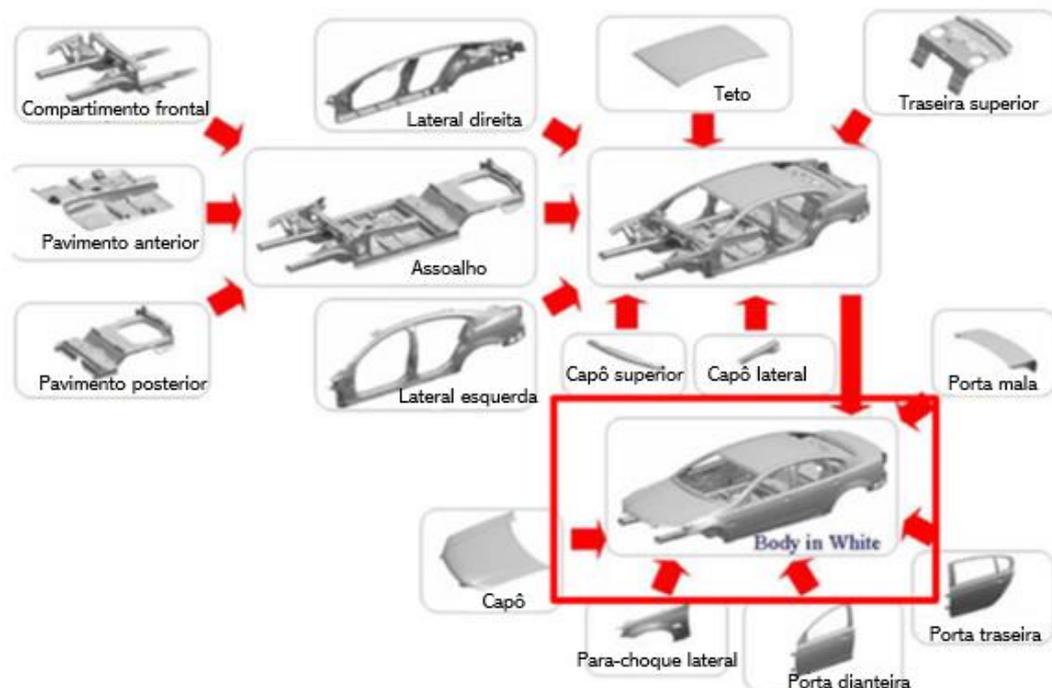
1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Revisão bibliográfica	11
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Noções de risco	18
2.1.1	O que é risco	18
2.1.2	Análise preliminar de risco.....	18
2.1.3	Estrutura analítica de riscos	22
2.2	Noções de gerenciamento de projetos	22
2.2.1	O que é projeto	22
2.2.2	Escopo do projeto	22
2.2.3	Estrutura analítica de projeto.....	23
2.2.4	PERT	23
2.2.5	Reserva emergencial e gerencial	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	Caracterização do projeto	26
3.2	Identificação e avaliação qualitativa dos riscos	27
3.3	Avaliação das frequências	27
3.4	Avaliação das consequências e impactos	28
3.5	Quantificação e categorização dos riscos	29
3.5.1	Categorização dos riscos	31
4	RESULTADOS	32
4.1	Caracterização do projeto	32
4.1.1	Objetivo do projeto.....	32
4.1.2	Marcos do projeto	32
4.1.3	Premissas do projeto.....	33
4.1.4	Requisitos do projeto	34
4.1.5	<i>Layout</i> do projeto.....	34
4.1.6	Estrutura analítica do projeto.....	35
4.1.7	Diagrama de rede e linha de base do cronograma do projeto.....	38

4.1.8	Recursos humanos	41
4.1.9	Linha de base dos custos do projeto	41
4.2	Identificação e avaliação qualitativa dos riscos	44
4.3	Avaliação das frequências	44
4.4	Avaliação das consequências e impactos	49
4.5	Quantificação e categorização dos riscos	52
5	DISCUSSÃO	55
5.1	Discussão da metodologia	55
5.2	Discussão dos resultados	56
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O risco é definido pela probabilidade de ocorrência de uma consequência indesejada e a sua severidade em devidas circunstâncias (DUARTE, 2011). Um risco pode ser pensado como a combinação da incerteza e as suas consequências indesejadas (ROWE, 1975). As consequências indesejadas estudadas neste trabalho serão focadas em impactos financeiros (e.g, extracusto) e atrasos em um projeto de linhas de *Body-in-White* (BiW) (i.e, etapa produtiva das montadoras de veículos onde, uma vez que as peças da carroceria foram conformadas, elas são juntadas (Figura 1) através de processos como aplicação de solda e cola, formando a carroceria completa pronta para a pintura (PATCHONG; LEMOINE; KERN, 2003)). Vale salientar que este trabalho visa o estudo das ameaças, e não oportunidades de um projeto.

Figura 1 - Estruturas metálicas de uma carroceria soldada.



Fonte: adaptado de Azuko Technical Institute (2019)

A indústria automotiva contempla o projeto, fabricação e comércio de veículos em uma determinada região. Em 2018, o Brasil registrou um aumento de 14,6% de carros produzidos em relação ao ano anterior, alcançando o total de 2,5 milhões de veículos vendidos, segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2018). A receita gerada pela venda de veículos em 2019 no Brasil foi de aproximadamente 59,2 bilhões de dólares, possibilitando a empregabilidade de um total de 120 mil funcionários dentre as

montadoras e seus fornecedores (ANFAVEA, 2019). Em 2021, apesar da crise mundial, o volume de automóveis vendidos ultrapassou os 2 milhões (ANFAVEA, 2021).

A etapa produtiva de BiW tende a ser uma das etapas mais complexas em termos de projeto devido ao seu alto nível tecnológico e precisão demandada (PELLEGRINELLI et al., 2017). Além disso, BiW contribui, em média, com 27% do peso total de um veículo e é a etapa chave para determinar a performance de um veículo em termos de *design*, segurança e aerodinâmica (PRADEEP et al., 2017). Com intuito de montar a carroceria completa de um carro, montadoras de veículos podem necessitar de centenas de robôs de diferentes alcances e cargas suportadas. Este alto grau de complexidade oferece riscos durante a projeção, construção e implementação destas linhas. O estudo da avaliação de riscos neste trabalho é focado unicamente para a aplicabilidade em projetos de linhas BiW, i.e, projetos de configurações de linhas produtivas presentes em montadoras de veículos para o lançamento de um novo automóvel (PATCHONG; LEMOINE; KERN, 2003).

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte maneira. Inicialmente, esta seção prossegue com uma revisão da literatura, justificativa e apresentação dos objetivos. Depois, caracterização do projeto estudado na seção 4.1. Por conseguinte, será apresentada identificação e avaliação qualitativa dos riscos na seção 4.2. Após isso, será realizada uma estimativa para a avaliação das frequências na seção 4.3. Por fim, será visto a avaliação das consequências na seção 4.4 e a quantificação e categorização dos riscos na seção 4.5.

1.1 Revisão bibliográfica

A análise de riscos é dividida em três componentes complementares (Figura 2): (i) avaliação de risco, (ii) gerenciamento de risco e a (iii) comunicação de risco (TEAF, 2004). Este trabalho tem foco no primeiro componente. O objetivo da (i) avaliação de risco é, através da identificação dos perigos, avaliação qualitativa e quantitativa dos riscos, coletar os dados adequados para que as decisões possam ser tomadas. Os objetivos do (ii) gerenciamento de risco é criar planos de resposta a estes riscos e (iii) comunicação de risco tem como objetivo apresentar de maneira clara para os tomadores de decisão e o público geral a descrição do risco e seus fatores de influência. Para mais detalhes deste conceito, recomenda-se a referência (TEAF, 2004).

Figura 2 - Elementos para tomadas de decisões ambientais.



Fonte: adaptado de Teaf (2004)

Esta revisão contempla três livros e sete artigos que compõem o estado da arte em avaliação de riscos em projetos. O (PMI, 2018) considera “avaliação de riscos” e “gerenciamento de riscos” como um único componente, chamada somente de “gerenciamento de riscos”. Portanto, este trabalho também está incluso aqui. Diante dessas abordagens, a seguir os pontos mais relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

A avaliação de riscos em projetos é um fator relevante para garantir o sucesso de uma organização que trabalha com inovação devido ao alto grau de incerteza envolvido (ETGES; SOUZA; NETO, 2017). Com isso, se faz necessário a utilizações de abordagens únicas de avaliação de riscos para cada negócio. Na indústria automotiva, por exemplo, o impacto negativo advindo de um evento ocorrido pode incorrer em custos superiores a bilhões de reais visto o alto volume produtivo (HULT; CRAIGHEAD; KETCHEN, 2010). A utilização de tecnologia e inovação neste ramo, somada a alta incerteza e o custo atrelado ao risco, aumenta mais ainda a importância do gerenciamento de risco nesta área.

Diante desta problemática, se faz necessário revisar estudos realizados e abordagens apresentadas de avaliação de riscos na indústria automotiva (HULT; CRAIGHEAD;

KETCHEN, 2010; PATCHONG; LEMOINE; KERN, 2003; PELLEGRINELLI et al., 2017), bem como entender as suas vantagens e limitações dentro do cenário atual. As limitações serão utilizadas como norte para determinar análises futuras relevantes neste mercado.

Além disso, com o intuito de investigar metodologias mais desenvolvidas para a avaliação de riscos, esta revisão também contempla abordagens de Avaliação Quantitativa de Riscos (AQR) em outras indústrias (e.g, nuclear, química) onde estes estudos já estão mais consolidados (DECLERCK, 2002; HAYES, 2019).

O risco de um projeto é um evento ou condição incerta com certa probabilidade de ocorrer que provocará um efeito positivo ou negativo no projeto caso ocorra (PMI, 2018). O estudo do gerenciamento de risco ocorre através do planejamento do gerenciamento de risco, onde se define como será conduzida as atividades do gerenciamento; a identificação, onde são estudadas as fontes de riscos; a análise qualitativa e quantitativa, onde são realizadas as priorizações dos riscos e os efeitos; o planejamento da resposta, onde são estudadas as estratégias de tratativas sobre os riscos do projeto; a sua implementação, onde é realizada a execução do planejamento e monitoramento, onde se verifica a eficácia das ações e se identifica novos riscos. Neste sentido, é possível verificar que dentre os trabalhos estudados, o PMBOK (PMI, 2018) é o que melhor formalizou as técnicas necessárias para o gerenciamento dessa área de conhecimento de modo a aumentar o impacto e probabilidade das oportunidades e diminuir o impacto e probabilidade de riscos.

A abordagem de (HAYES, 2019) resume os principais métodos de análise de riscos a serem abordados nesse trabalho, e.g, Simulação de Monte Carlo, neste método de análise quantitativa é possível utilizar de variáveis aleatórias para prever o impacto de vários eventos probabilísticos somados; Arvore de falhas, com esse método é possível identificar todas as possíveis causas de um evento inesperado acontecer através de um diagrama de blocos, assim é possível utilizar de análises qualitativas e quantitativas dos riscos, como a probabilidade de o risco ocorrer.

Devido à alta complexidade das interações entre homens, materiais, ecossistemas e meteorologia, o artigo (DUARTE et al., 2019) desenvolve um método flexível para avaliação de riscos ecológicos e microbiano. Este nível de complexidade também se aplica para os efeitos metereeo-oceanográficos em embarcações, por isso o artigo (AZEVEDO et al., 2021) propõe uma metodologia para qualificação e classificação de riscos envolvidos neste cenário no porto de Suape. Ambos os artigos seguem a seguinte sequência de etapas de avaliação de riscos: caracterização do problema, identificação dos perigos, avaliação qualitativa, estimativa da frequência e avaliação quantitativa.

A identificação de risco pode ser classificada de acordo com a sua natureza diante da sequência de operações de uma organização (MABROUKI; BENTALEB; MOUSRIJ, 2014). Esta análise permite estratificar os riscos de acordo com as etapas do processo através de *brainstorms*, selecionar os principais riscos, elencar em ordem de criticidade e em ordem de atual domínio sobre o risco visto os atuais procedimentos utilizados na companhia. Com isso, é possível alocar os riscos em matrizes de classificação, avaliação e criticidade. Esta análise permite entender a severidade do risco, separando em risco insignificante, pequeno, grande ou catastrófico para elaborar planos de ações individuais. Com isso, seria de grande aplicabilidade a utilização deste método de classificação em avaliações de riscos na indústria automobilística.

Várias são as fontes de incertezas encontradas em uma avaliação de risco, elas são divididas entre: (i) o ponto de partida, (ii) o modelo, (iii) os parâmetros e (iv) a utilização deste modelo (DECLERCK, 2002). Para a primeira fonte de incerteza, (DECLERCK, 2002) aponta que se deve escolher se o ponto de partida da avaliação será a atividade em si ou a influência do seu contorno sobre a atividade. Já na segunda fonte de incerteza, se deve manter o mais simples possível a característica do modelo de forma a manter mensurável os seus parâmetros. Na terceira fonte de incerteza, com intuito de definir os parâmetros deve ser levado em consideração as extrapolações de dados aplicados em outras instâncias, locais ou momentos. Por último, para a quarta fonte de incerteza, diferentes utilizações do modelo podem levar a diferentes resultados devido à más interpretações ou erros de cálculos. Os métodos apresentados neste livro são aplicados a riscos em instalações estacionárias e riscos relacionados ao transporte de bens de alta periculosidade e podem ser extrapolados para a utilização neste trabalho.

Em um projeto é comum encontrar centenas ou milhares de atividades a serem executadas e coordenadas para a entrega completa de um escopo. O artigo (BARBOSA et al., 2019) aplica a ferramenta *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) em projeto de *as built* de um barco de 33 pés completo, contendo como escopo a engenharia reversa do casco, plataforma, deque principal, targa, cabine e *cockpit* do barco. A utilização dessa ferramenta permitiu identificar o caminho crítico do projeto em um diagrama de rede. Além disso, foi possível, através de um método de duração estimada para cada uma das atividades do projeto, calcular a duração total de cada um dos caminhos nos cenários otimistas, prováveis e pessimistas. A aplicação dessa metodologia neste trabalho, permite antecipar o risco de atraso do projeto através de uma análise do caminho crítico.

Atualmente os principais métodos utilizados para a avaliação de riscos na indústria automotiva são direcionados principalmente ao *Supply Chain Risk Management* (SCRM)

devido ao alto volume de peças de fornecimento, sobretudo internacional, utilizadas no processo produtivo e o seu custo atrelado aos riscos, como pode ser verificado em (ZANFELICCE et al., 2017). Também pode ser visto em (OLIVEIRA; ROCHA, 2014), que os riscos de maiores impactos encontrados na indústria automotiva estão ligadas ao fornecimento de material atrasado ou retrabalhos necessários neste fornecimento. No entanto, o método de análise utilizado nesse artigo não aprofundou os erros técnicos que podem ser identificados em dispositivos dessa indústria.

Em 2003, a PSA Peugeot Citroën decidiu revolucionar o fluxo produtivo através da utilização de uma mesma linha para produzir o máximo de modelos diferentes possíveis no BiW (PATCHONG; LEMOINE; KERN, 2003). Essa nova estratégia permitiu que, em um ano, o volume produtivo crescesse em 4%, com expectativa de atingir até 90% de crescimento nos anos seguintes. Essa estratégia, apesar de criativa, oferecia alguns perigos associados a potencial limitação do número máximo de diferentes modelos produzidos em uma planta; no momento do *redesign* das linhas para ofertar novos modelos, poderia haver potencial de ocorrência de falhas na produção dos modelos correntes de produção. Este artigo detalha bem como o mercado automotivo contornou esses riscos através da utilização de um fluxo de linha mais flexíveis.

O artigo (PELLEGRINELLI et al., 2017) estuda o método mais adequado de projeção de células automotivas de BiW, analisado de forma técnica como diminuir o risco de colisões entre robôs dentro de *multi-robot spot-welding cells* através do estudo do tempo de ciclo requerido, posicionamento dos dispositivos de apoio das células, definições prévias dos pontos de solda requeridos, simulação do dispositivo de transporte, estudo da quantidade de robôs e ferramentas que serão necessárias na operação, definição dos modelos dos robôs com base no *payload* e alcance, seu posicionamento e simulações da trajetória antes de sua construção e instalação. Como pode ser visto, este estudo contribui para o estado da arte do tema da avaliação de risco automotivo em BiW pelo fato de apresentar uma sequência de atributos que devem ser adicionados a este tipo de projeto prevenindo os perigos técnicos (e.g, não consideração do dinamismo do produto no processo, colisão entre dispositivos com o robô durante sua trajetória, problemas no *software* que irá receber os *inputs* da célula para determinar os *outputs* da operação, erros nos eixos x,y e z nos pontos de solda aplicados).

1.2 Justificativa

Devido ao alto nível de complexidade e custo para a produção de carrocerias no BiW, a implementação de projetos do tipo *common platform* (i.e, produção de veículos de diferentes modelos sob a mesma plataforma) nessa etapa produtiva se torna essencial para a diversificação de modelos e aumento de receita em uma montadora (PATCHONG; LEMOINE; KERN, 2003). No entanto, a implementação deste tipo de projeto pode gerar impactos negativos na produção dos modelos correntes. De forma a contornar esses perigos, se faz necessário o estudo de uma avaliação de risco robusta.

Apesar de existirem diversas metodologias que conduzem a avaliação de risco de projetos (DECLERCK, 2002; HAYES, 2019; PMI, 2018; TAG, 2017), nenhuma aborda todas as especificidades de um projeto em linhas de BiW, tais como: (i) o impacto do projeto de um novo modelo de veículo sobre a produção dos modelos atuais e vice e versa; (ii) a possibilidade de as dimensões do veículo serem modificadas ao longo do projeto; (iii) as etapas e estruturas costumeiras de um projeto neste ramo; e (iv) categorizar os riscos quantificados do projeto, de forma a facilitar a comunicação com os *stakeholders* ou gestores que tenham baixo conhecimento sobre linguagens probabilísticas. Com isto, este trabalho contribui ao aprimorar estas boas práticas, desenvolvendo uma metodologia própria de avaliação de riscos em projetos para linhas de BiW.

Além disso, será possível desenvolver uma metodologia a medida em que ela é aplicada em um caso real. Neste sentido, a metodologia proposta se baseia nas necessidades reais de um projeto nesta área, diferente de outras metodologias, como proposto no PMBOK (PMI, 2018) ou PRINCE2 (TAG, 2017), que se baseia na realidade de projetos gerais, sugerindo a adaptação ao projeto específico.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é, primeiro, propor uma metodologia genérica para AQR de projetos em linhas de BiW (a partir de então chamada de metodologia AQRBiW), no sentido de que possa servir como guia para aplicação em projetos na indústria automotiva em linhas de BiW para o lançamento de novos modelos. Segundo, ilustrar a viabilidade prática da metodologia proposta através da aplicação de um caso real em uma montadora de veículos no Brasil.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos, os quais foram organizados para seguir uma estrutura similar a outras metodologias de AQR (AZEVEDO et al., 2021; DECLERCK, 2002; DUARTE, 2011; HAYES, 2019; DUARTE et al., 2019) em outros setores como apresentado na seção 1.1 (Revisão bibliográfica).

- A. Caracterizar o projeto.
- B. Identificar e avaliar qualitativamente os riscos.
- C. Avaliar as frequências.
- D. Avaliar consequências e impactos.
- E. Quantificar e categorizar os riscos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados conceitos básicos e definições de forma a tornar mais claro o restante do trabalho. Os conceitos serão separados em dois grupos: conceitos relacionados à riscos e conceitos relacionados à gestão de projetos.

2.1 Noções de risco

Nesta seção, serão abordadas as principais definições para a fundamentação das ferramentas de avaliação de riscos utilizadas neste trabalho. Através dos conceitos aqui apresentados, será possível desenvolver métodos para o AQRBiW.

2.1.1 O que é risco

O risco é definido pela probabilidade de ocorrência de uma consequência indesejada e a sua severidade em devidas circunstâncias (DUARTE, 2011). Um risco pode ser pensado como a combinação da incerteza e as suas consequências indesejadas (ROWE, 1975). Para mais detalhes do conceito de risco recomenda-se as seguintes referências (FREEMAN, 1990; HAYES, 2019; ROWE, 1975). Alguns exemplos são:

- Existe uma probabilidade de 15% da especificação do motor da esteira transportadora estar incorreta, podendo ocasionar um custo adicional de R\$15.000,00 na aquisição de um novo motor adequado.
- Existe uma probabilidade de 5% do eixo se romper devido à sobrecarga nos próximos 2 anos, ocasionando um prejuízo de R\$40.000,00 devido à parada de produção.

2.1.2 Análise preliminar de risco

Todos os riscos identificados podem ser estruturados através da Análise Preliminar de Risco (APR), também conhecida como Análise Preliminar de Perigos (APP) (ERICSON, 2005), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Análise preliminar de riscos adaptada.

Evento iniciador	Categoria	Possível causa	Conseq. indesejada	Área de impacto	Probabilidade	Severidade	Risco	Resposta ao risco

Fonte: adaptado de Ericson (2005)

Durante o preenchimento do APR, as respostas são qualitativas e levarão em consideração as definições a seguir:

- i. Evento iniciador: descrição sucinta do possível evento que desencadeou o risco.
- ii. Categoria: definido pelo EAR NÍVEL 2 conforme Tabela 2.
- iii. Possíveis causas: as possíveis causas para a ocorrência do evento iniciador.
- iv. Consequência indesejada: definição do tipo de impacto, como extracusto (i.e., custo além do esperado) ou atraso (i.e, aumento do tempo esperado para finalizar o projeto).
- v. Área de impacto: sua área de impacto na fase do projeto como Gestão de Projetos, Engenharia, Suprimentos, instalações, comercial e outros.
- vi. Classificação de probabilidade: de acordo com a Tabela 3.
- vii. Classificação da severidade: de acordo com a Tabela 4.
- viii. Classificação do risco: de acordo com a combinação de probabilidade e severidade conforme Tabela 5.
- ix. Resposta ao risco: estratégias que possam diminuir a classificação ao risco em questão. Este será classificado em escalar, prevenir, transferir, mitigar ou aceitar.

Tabela 2 - Estrutura analítica de riscos.

EAR NÍVEL 0	EAR NÍVEL 1	EAR NÍVEL 2
0. TODAS AS FONTES DE RISCO DO PROJETO	1. RISCO TÉCNICO	1.1 Definição do escopo
		1.2 Definição dos requisitos
		1.3 Estimativas, premissas e restrições
		1.4 Processos técnicos
		1.5 Tecnologia
		1.6 Interfaces técnicas
		Etc.
	2. RISCO DE GERENCIAMENTO	2.1 Gerenciamento de projetos
		2.2 Gerenciamento de portfólio/programa

		2.3 Gerenciamento de operações
		2.4 Organização
		2.5 Recursos
		2.6 Comunicação
		Etc.
	3. RISCO COMERCIAL	3.1 Termos e condições do contrato
		3.2 Aquisição interna
		3.3 Fornecedores e prestadores de serviços
		3.4 Subcontratos
		3.5 Estabilidade do cliente
		3.6 Parcerias e <i>joint ventures</i>
		Etc.
	4. RISCO EXTERNO	4.1 Legislação
		4.2 Taxas de câmbio
		4.3 Local/Instalações
		4.4 Meio ambiente/clima
		4.5 Concorrência
		4.6 Regulamentação
		Etc.

Fonte: Project Management Institute (2018)

Tabela 3 - Matriz de probabilidade.

Intervalos de frequência	Probabilidade
0 - 10%	Muito baixa
10 - 30%	Baixa
30 - 50%	Média
50 - 70%	Alta
90 - 100%	Muito alta

Fonte: O autor (2022)

Tabela 4 – Matriz de classificação de severidade.

Condições definidas para escalas de impacto de um risco em objetivos importantes do projeto					
Objetivo do projeto	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto
Custo	Aumento de custo não significativo	Aumento de custo de 1% a 5%	Aumento de custo de 5% a 10%	Aumento de custo de 10% a 15%	Aumento de custo > 15%

Tempo	Aumento de tempo não significativo	Aumento de tempo < 5%	Aumento de tempo de 5% a 10%	Aumento de tempo de 10% a 20%	Aumento de tempo > 20%
Escopo	Diminuição do escopo quase imperceptível	Área menos importantes do escopo afetadas	Áreas importantes do escopo afetadas	Redução do escopo inaceitável para o patrocinador	Item final do projeto sem nenhuma utilidade
Qualidade	Degradação da qualidade quase imperceptível	Somente as aplicações mais críticas são afetadas	Redução da qualidade exige a aprovação do patrocinador	Redução da qualidade inaceitável para o patrocinador	Item final do projeto sem nenhuma utilidade

Fonte: adaptado de Project Management Institute (2018)

Tabela 5 – Exemplo de uma Matriz de Riscos com 5 níveis de probabilidade e impacto.

		Impacto				
		Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto
Probabilidade	Muito alta	Média	Média	Alta	Alta	Alta
	Alta	Baixa	Média	Média	Alta	Alta
	Média	Baixa	Baixa	Média	Alta	Alta
	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta
	Muito baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média

Fonte: Project Management Institute (2018)

A seguir, as definições de alternativas para as respostas preliminares aos riscos:

- Escalar: nesta estratégia, a equipe do projeto delega ou solicita a algum *stakeholder* de nível acima no organograma do projeto suporte para resposta ao risco.
- Prevenir: para esta estratégia, o gerente do projeto utiliza de alguma alteração no plano para que elimine a probabilidade ou evite que o evento negativo ocorra por completo.
- Transferir: utiliza-se dessa estratégia quando se tem o objetivo de transferir a responsabilidade de absorver o impacto do risco, caso a ameaça ocorra, para outro *stakeholder* do projeto que não a própria equipe.
- Mitigar: neste tipo de estratégia, a ação é direcionada a diminuir o impacto ou a probabilidade da ocorrência da ameaça.

- Aceitar: quando é observado a impossibilidade de se criar um plano de resposta ou quando as únicas ações possíveis têm um custo superior ao impacto do risco caso o evento ocorra, a única alternativa disponível é a aceitação.

Para mais detalhes sobre o conceito de APR, recomenda-se a referência (ERICSON, 2005). Para os conceitos relacionados aos planos de respostas e classificação dos riscos em projetos, recomenda-se a referência (PMI, 2018).

2.1.3 Estrutura analítica de riscos

Estrutura Analítica de Riscos (EAR) (Tabela 2) subdivide os riscos do projeto em quatro grupos (PMI, 2018). Os grupos apresentados são: (i) riscos técnicos, ao qual este trabalho tem um foco maior, ligados ao escopo de entrega, premissas e restrições; (ii) risco de gerenciamento, relacionados à gestão do projeto como um todo, incluindo os seus recursos, portfólio completo e organização; (iii) riscos comerciais, relacionados aos contratos externos estabelecidos entre o projeto e os *stakeholders*; e (iv) riscos externos, que contempla fatores externos que podem impactar no projeto como economia, legislação e concorrências. Para mais detalhes sobre o conceito de EAR, recomenda-se a referência (PMI, 2018).

2.2 Noções de gerenciamento de projetos

Nesta seção, serão abordadas as principais definições para a fundamentação das ferramentas de gerenciamento de projetos utilizadas neste trabalho. Através dos conceitos aqui apresentados, será possível caracterizar o projeto.

2.2.1 O que é projeto

O projeto é um esforço temporário que tem como finalidade um resultado único e possui recursos delimitados (PMI, 2018). Como forma de exemplificação, é possível entender que o lançamento de um novo produto a ser fabricado na indústria pode ser caracterizado por um projeto pelo fato de ele ser único, necessitar de um prazo e não possui disponível recursos infinitos. Por outro lado, a produção em larga escala deste produto, não pode ser caracterizado como um projeto por ser uma atividade repetitiva e não única. Para mais detalhes sobre o conceito de projeto, recomenda-se a referência (PMI, 2018).

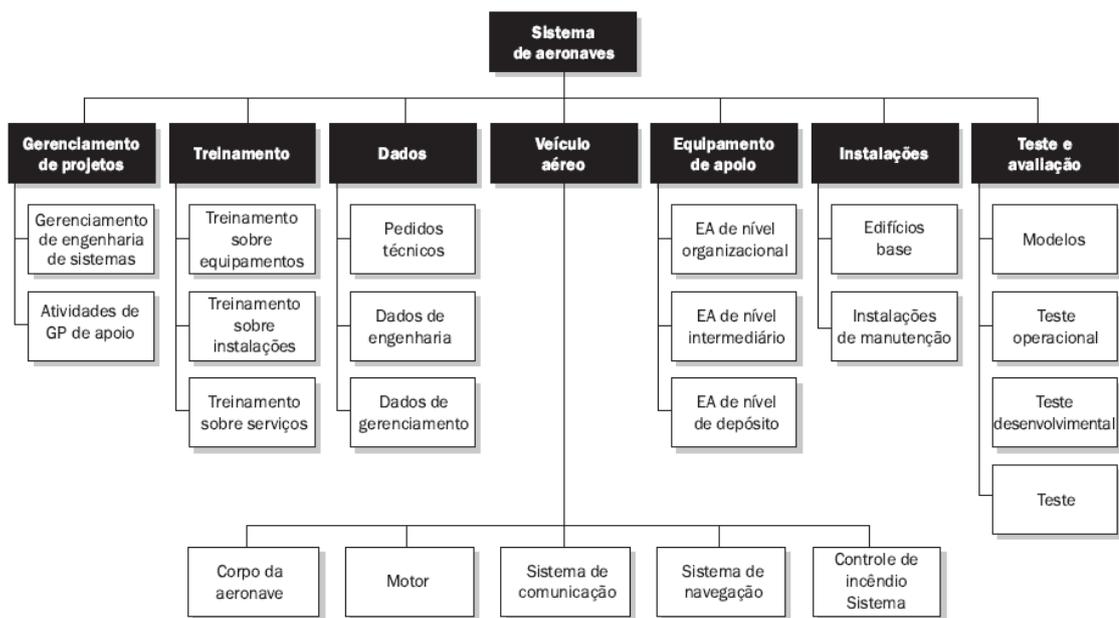
2.2.2 Escopo do projeto

O escopo do projeto descreve detalhadamente o projeto e o produto, bem como seus limites e resultados (PMI, 2018). Como consequência, o escopo todo o trabalho que deve ser realizado para entregar um produto, serviço ou resultado com as funcionalidades e funções especificadas. Para mais detalhes sobre o conceito de escopo, recomenda-se a referência (PMI, 2018).

2.2.3 Estrutura analítica de projeto

A estrutura analítica de projeto (EAP) se caracteriza pela decomposição hierárquica orientada a resultados do trabalho que organiza e define o escopo total do projeto (PMI, 2018). Cada nível desta estrutura representa uma visão mais detalhada do trabalho (vide Figura 3). Para mais detalhes sobre o conceito de EAP, recomenda-se a referência (PMI, 2018).

Figura 3 - Estrutura analítica do projeto.



A EAP é apenas ilustrativa. Não tem por objetivo representar o escopo completo de qualquer projeto específico, nem implicar que esta é a única forma de organizar uma EAP para este tipo de projeto.

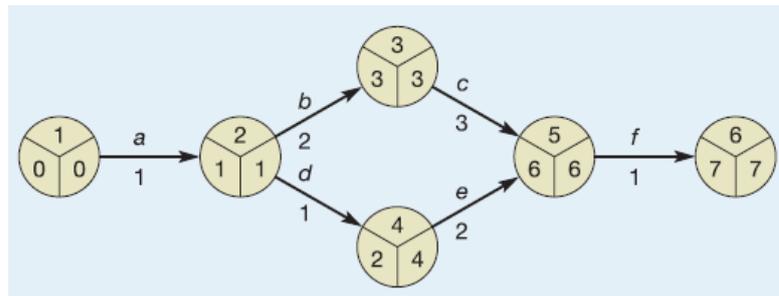
Fonte: Project Management Institute (2018)

2.2.4 PERT

O *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) se baseia na utilização do diagrama de rede (e.g, Figura 4) como forma de representação as etapas sequenciadas para a entrega do projeto completo levando em conta os seus predecessores e sucessores (SLACK;

CHAMBERS; JOHNSTON, 2010). Desta forma, é possível encontrar o caminho crítico (i.e, sequência de atividades que definem o mínimo tempo que um projeto pode ser performed). A partir dessas informações, é elaborado o cronograma de linha de base (i.e, toda as atividades do cronograma com suas datas de término e início definidas no primeiro planejamento). Para mais detalhes sobre o conceito de PERT, recomenda-se a referência (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2010).

Figura 4 - PERT.



Fonte: Slack; Chambers; Johnson (2010)

2.2.5 Reserva emergencial e gerencial

De forma a garantir o gerenciamento de custo do projeto, é necessário utilizar-se de reservas, evitando prejuízos. Estas reservas são flutuantes de acordo com as oportunidades e riscos do projeto em questão (PMI, 2018).

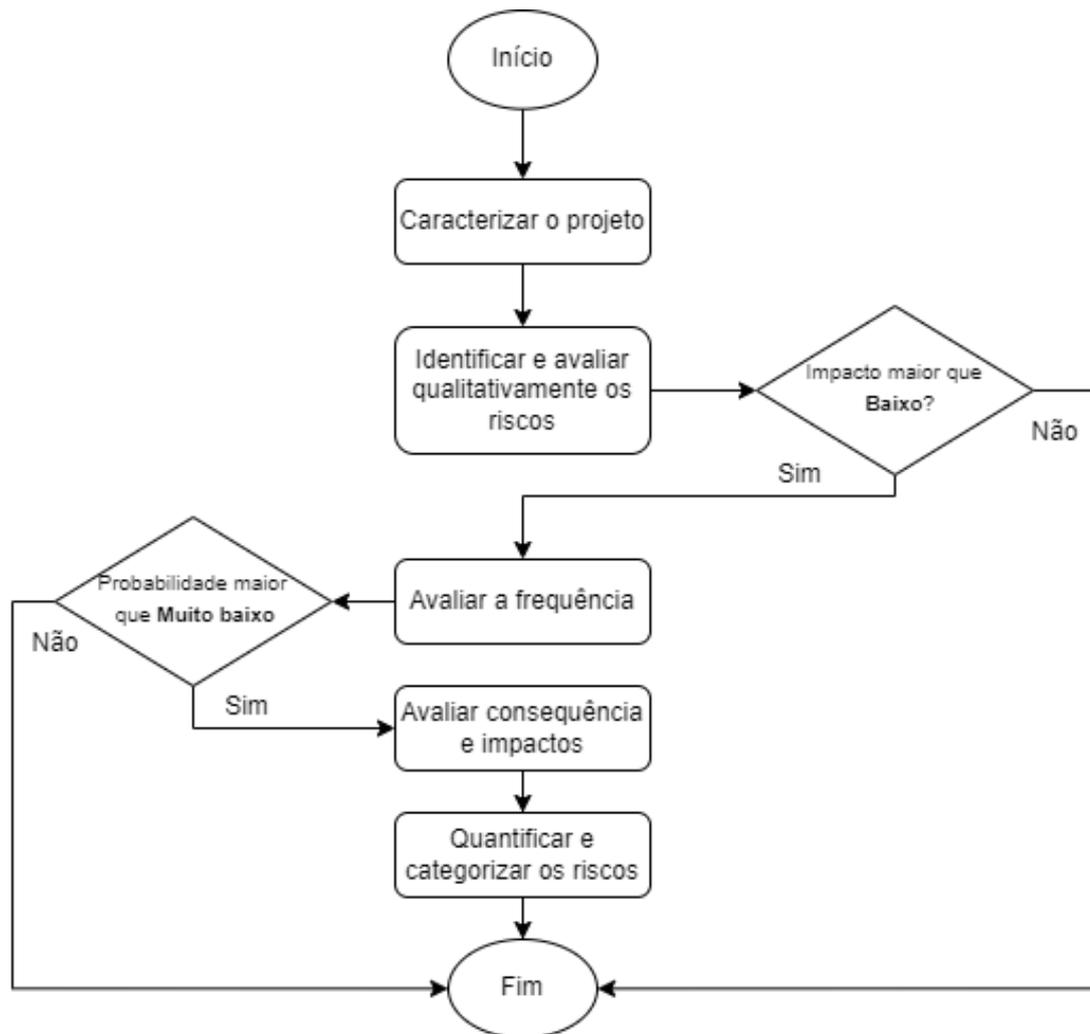
No início e planejamento do projeto, após elaborada a identificação, as avaliações qualitativas e quantitativas dos riscos, faz-se necessário estimar a reserva emergencial (i.e, valor monetário reservado para custear os riscos do projeto). Além disso, após identificadas e avaliadas as oportunidades do projeto, durante a execução do projeto, recomenda-se criar uma reserva gerencial (i.e, valor monetário reservado quando as oportunidades dos projetos ocorrem). Esta reserva gerencial, se não consumida ao longo do projeto, será atribuída à margem de lucro do projeto (i.e, diferença entre a receita e os custos finais dos projetos).

3 METODOLOGIA

As etapas à serem seguidas foram definidas durante o objetivo e terão como sequência os seguintes itens (adaptado de DECLERCK, 2002; DUARTE, 2011; HAYES, 2019) (Figura 5):

- Caracterização do projeto.
- Identificação e avaliação qualitativa dos riscos.
- Avaliação das frequências.
- Avaliação das consequências e impactos.
- Quantificação e categorização dos riscos.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia do Avaliação de Riscos em Projetos Automotivos de Body-in-White.



Fonte: O autor (2022)

O APÊNDICE A apresenta a definição e descrição dos parâmetros e variáveis que compõem o modelo matemático em que se baseia esta metodologia, de forma a servir como consulta para melhor compreensão das Equações que serão apresentadas nesta seção.

3.1 Caracterização do projeto

O método utilizado na caracterização do projeto é baseado na definição do escopo do projeto (i.e, o trabalho que deve ser realizado para entregar um produto, serviço ou resultado com características e funções especificadas (PMI, 2018)), que define como informações de entrada os objetivos, premissas, requisitos e, principalmente, tempo de entrega e custo do projeto.

Para determinar o escopo, utiliza-se como parâmetros (i.e, *input*) de entrada as seguintes informações:

- i. Objetivo técnico do projeto e aplicabilidade na linha de montagem de veículos (e.g, introduzir um novo modelo de veículo em uma linha produtiva);
- ii. Premissas que devem ser levadas em consideração para a definição do escopo (e.g, o novo modelo introduzido não pode inviabilizar a produção dos modelos atuais);
- iii. Requisitos relevantes ao projeto (e.g, a linha de montagem modificada deve ser completamente robotizada);
- iv. Marcos do projeto (i.e, momentos importantes para um projeto) na área automotiva e os seus objetivos (e.g, data de lançamento do novo modelo);
- v. Layout de concepção da linha produtiva;
- vi. Recursos humanos alocados no projeto (e.g, engenheiros mecânicos, eletricitas, coordenadores de instalação).

Com estas informações de entrada e dominando as metodologias técnicas explicadas na seção 2.2 (Conceitos de gerenciamento de projetos), é possível elaborar os produtos de saída (i.e, *outputs*) desta etapa: a (i) Estrutura Analítica do Projeto (EAP) (vide Figura 3); o (ii) diagrama de rede conforme metodologia PERT; o (iii) cronograma detalhado de linha de base, onde irá conter todas as etapas sequenciadas necessárias para a entrega do escopo total com os tempos prováveis (T_1) para execução das atividades, contemplando desde a concepção do *design* das linhas automotivas até a instalação e comissionamento delas e a (iv) linha de base dos custos

do projeto, que irá servir como referência para o cálculo de extracusto do projeto baseado nos riscos.

3.2 Identificação e avaliação qualitativa dos riscos

Uma vez que o projeto está caracterizado, utiliza-se como *input*: o (i) cronograma de linha de base; (ii) as premissas; (iii) os requisitos; (iv) a lista de recursos humanos; (v) a linha de base dos custos do projeto e (vi) as opiniões de especialistas. Com estas informações, os principais perigos podem ser elencados.

Pelo fato desta etapa apresentar um aspecto qualitativo, neste trabalho, recomenda-se realizar entrevistas semiestruturadas com especialistas de cada área de projetos de linhas BiW (e.g, gerenciamento de projetos; engenharia mecânica e automação; suprimentos; instalação e comissionamento) conforme APÊNDICE B, em que serão apresentados ao escopo do projeto e, com isso, são analisados os perigos presentes.

Neste trabalho, a forma de categorizar esses riscos será conforme a EAR. Para mais detalhes sobre este conceito, ver a seção 2.1.3 (Estrutura analítica de riscos).

Através destas informações e o método de avaliação qualitativa dos riscos estudado neste trabalho, é possível realizar como *output* a tabela de APR (conforme Tabela 1) com auxílio da Tabela 5 para a categorização dos riscos e Tabela 4 para categorização da severidade. Caso a severidade seja acima de Baixo, deve-se avaliar a frequência (vide Figura 5). Para mais detalhes sobre este conceito, ver a seção 2.1.2 (Avaliação preliminar dos riscos).

3.3 Avaliação das frequências

Nesta seção, recomenda-se utilizar como *input* o diagrama de rede e os perigos qualificados que tenham um possível efeito sobre o caminho crítico do projeto (i.e, sequência de atividades que determinam a menor duração possível para o projeto). Desta forma, utiliza-se a distribuição beta como forma de estimativa de tempo necessário para a realização das tarefas do caminho crítico (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2010). Com isso, é possível elencar os tempos otimistas (T_o) e prováveis (T_I) apontados nas entrevistas semi-estruturadas (APÊNDICE B) com a área técnica para realizar cada uma das atividades. Visto o impacto do risco sobre a tarefa, define-se os tempos pessimistas (T_p). Com essas informações, calcula-se o desvio padrão (σ) através da Equação 1 (DREYFUS, 2006).

De acordo com o teorema do limite central, quanto maior o número de atividades avaliadas, o gráfico de tempo de execução do projeto por probabilidade aproxima-se de uma

curva normal (DREYFUS, 2006). Com o valor do desvio padrão determinado, é possível plotar a curva gaussiana relacionando a probabilidade do projeto ser finalizado em X dias (Equação 2). Calcula-se o índice z a ser aplicado na tabela de distribuição normal (DREYFUS, 2006) conforme Equação 3, onde o tempo estimado (Te) é determinado pela Equação 4 e μ pelo somatório dos Te do caminho crítico (Equação 5).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=\text{atividade inicial}}^{\text{Atividade final}} (Tp_i - To_i)^2}{36}} \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2)$$

$$z = \frac{X-\mu}{\sigma} \quad (3)$$

$$Te = \frac{To+4Tl+Tp}{6} \quad (4)$$

$$\mu = \sum Te \quad (5)$$

Ao final desta etapa, tem-se os seguintes *outputs*: (i) uma distribuição normal da faixa de probabilidade de finalização do projeto em número de dias; e (ii) uma tabela com a probabilidades de ocorrência do evento iniciador que gerarão possíveis extracustos ao projeto. Para todo risco com a probabilidade acima de Muito baixo recomenda-se seguir com a avaliação das consequências e impactos (vide Figura 5).

3.4 Avaliação das consequências e impactos

Nesta etapa, são selecionados como input, conforme previsto na avaliação qualitativa, os riscos que tenham como possível efeito “extracusto” e que apresentem uma severidade acima de Baixo, conforme Tabela 4. Desta forma, os riscos com efeito único de atraso no cronograma não serão avaliados nesta seção ou na quantificação dos riscos (3.5). Com isso, será realizado o cálculo econômico do custo de cada risco de extracusto identificado com severidade acima de Baixo (Equação 6) (i.e, extracusto advindo dos riscos individuais sobre o projeto), levando em conta os possíveis custos de material, C_m ; custos de hora extra, além do tempo programado no cronograma de linha de base, da engenharia, C_e ; hora extra de suprimentos, C_s ; hora extra

de instalações, C_i ; hora extra de comissionamento, C_c . Com o intuito de realizar a conversão de horas extras trabalhadas para custo, são utilizados os valores do custo unitário diário conforme APÊNDICE A, semelhante aos valores praticados no mercado brasileiro no ano de 2021.

$$Cr = Cm + Ce + Cs + Ci + Cc \quad (6)$$

Com esta informação, como forma de *output*, é elencado em uma tabela (e.g., Tabela 6) os riscos a serem quantificados com os seus possíveis eventos iniciadores, o Cr estimado e a probabilidade de ocorrência apresentada no capítulo anterior.

Tabela 6 – Tabela de extracusto.

Nº	Evento iniciador	Possível causa	Prob.	Sev.	Risco	Impacto	Extracusto	Prob.
1	Evento iniciador 1	Causa 1	Baixa	Alta	Média	R\$ 55.240,00	2%	10%
2	Evento iniciador 2	Causa 2	Baixa	Alta	Média	R\$ 55.000,00	2%	10%
3	Evento iniciador 3	Causa 3	Baixa	Alta	Média	R\$ 71.760,00	3%	10%

Fonte: O autor (2022)

3.5 Quantificação e categorização dos riscos

Nesta seção, recomenda-se utilizar o modelo matemático conforme Equação 7 em que o custo do risco total do projeto (Cr_T) será a soma dos custos dos riscos (Cr) dos eventos iniciadores ocorridos dada uma simulação.

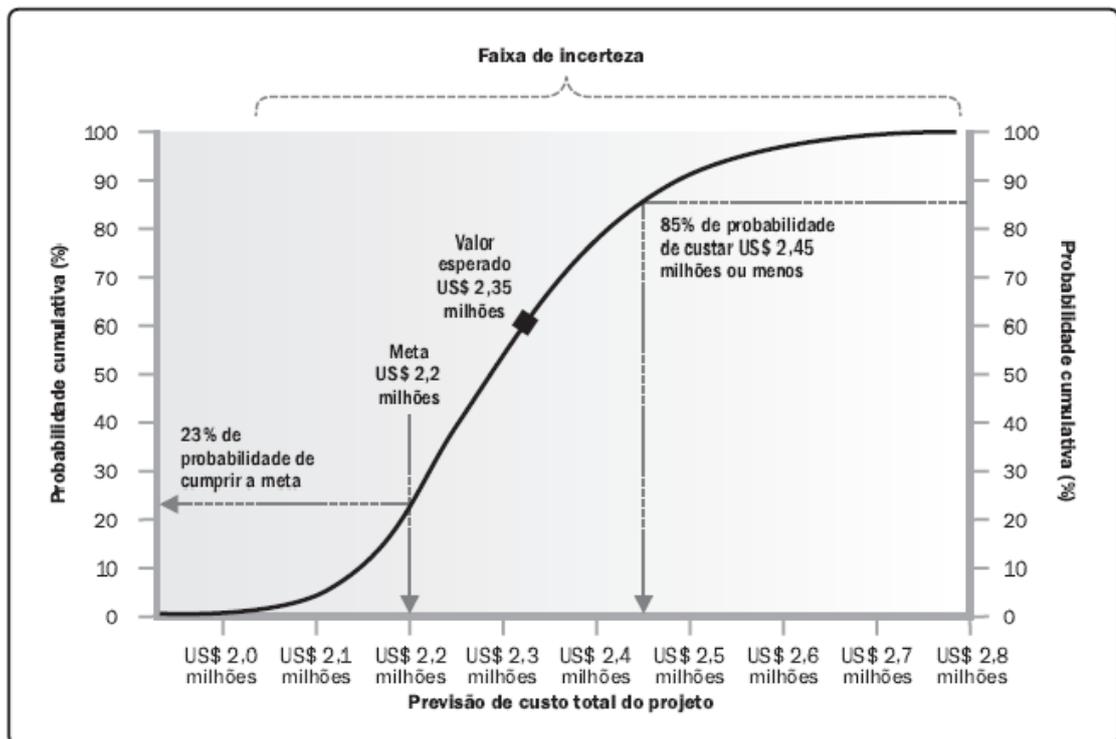
$$Cr_T = \sum Cr_n \quad (7)$$

A AQR usa métodos matemáticos com intuito de simular o efeito dos riscos individuais e outras incertezas combinados, resultando em uma relação de probabilidade de finalização do projeto sobre uma faixa de custo. Neste trabalho, o método para simular o efeito dos riscos sobre o custo do projeto são apresentados através da simulação de Monte Carlo (KALOS; WHITLOCK, 2008) que é reconhecido como um dos principais métodos computacionais utilizados quando se tem a intenção de prever o resultado de um cenário visto um número

significativo de eventos probabilísticos de possível influência. A partir disso, com a realização da análise de consequência e impacto financeiro dos riscos elencados como *input*, é possível utilizar deste método para estimar o custo final dos riscos do projeto.

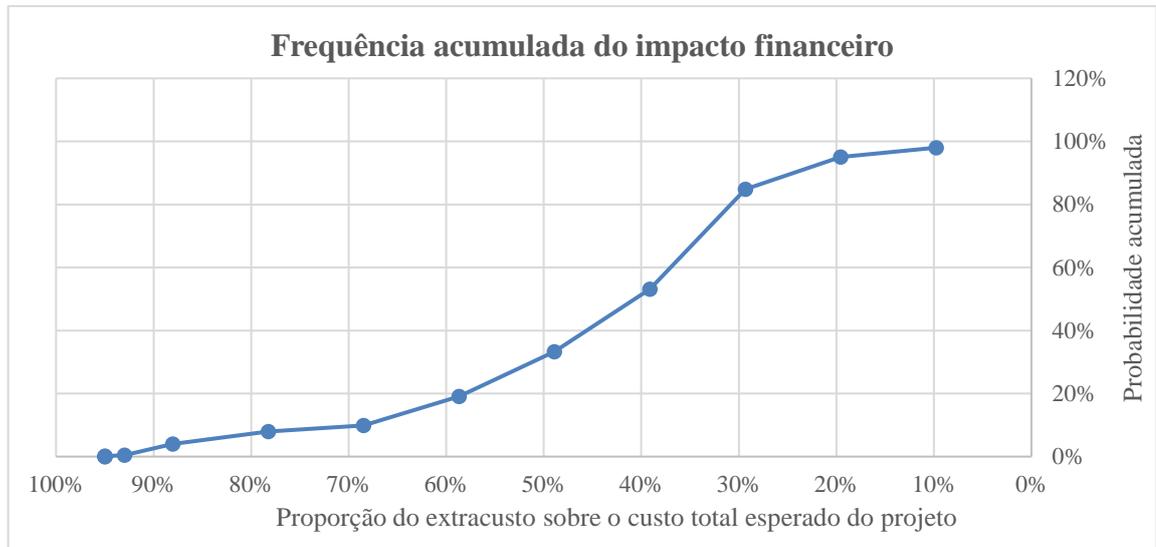
De forma resumida, para a realização da simulação de Monte Carlo, são utilizados os seguintes parâmetros no Microsoft 365 online: Cr , probabilidade de ocorrência (Pe) e número aleatório (Na) entre 0 e 1, seguindo uma distribuição uniforme. Em cada iteração, que representará um possível cenário, será realizado o seguinte passo a passo: gera-se um Na para cada risco quantificado; se $Na < Pe$ do risco n , incrementa-se Cr_n em Cr_T conforme Equação 7. Apesar de 7.500 a 8.000 iterações já apresentar um resultado estável para a simulação de Monte Carlo, recomenda-se utilizar 10.000 iterações nesta simulação por não exigir nenhum poder computacional relevante a mais para o seu processamento (MUNDFORM et al., 2011 apud DUARTE et al., 2022). Com isso, cria-se, como *output*, um gráfico relacionando Cr_T em Reais com a faixa de probabilidade de acordo com as iterações através de uma curva S (Figura 6), originalmente proposta por (PMI, 2018). No entanto, visto a limitação desta curva S não correlacionar a probabilidade de ocorrência com a proporção (ou percentual) de extracusto em relação ao custo total esperado do projeto, este trabalho propõe a curva S conforme Figura 7.

Figura 6 – Curva S da análise quantitativa de Risco de Custo.



Fonte: Project Management Institute (2018)

Figura 7 - Curva S da metodologia AQRBiW.



Fonte: O autor (2022)

3.5.1 Categorização dos riscos

De modo a facilitar a comunicação dos riscos (vide Figura 2) com gestores e *stakeholders* menos familiares com linguagem de probabilidade, recomenda-se criar uma categorização dos riscos. A categorização do risco extracusto do projeto é realizada de forma de comparar uma faixa de extracusto total dos riscos em relação ao custo esperado do projeto com a sua probabilidade de ocorrência. Desta forma, são definidos:

- Risco crítico (CR): >50% de probabilidade do extracusto estar acima de 50% do custo esperado do projeto.
- Risco alto (AL): >20% de probabilidade do extracusto estar acima de 20% do custo esperado do projeto.
- Risco baixo (BA): >10% de probabilidade do extracusto estar acima de 10% do custo esperado do projeto.
- Risco negligível (NE): <10% de probabilidade do extracusto estar abaixo de 10% do custo esperado do projeto.

Desta maneira, recomenda-se que gestores mais conservadores estimem a reserva emergencial em uma faixa de extracusto com probabilidade abaixo de 10%; gestores moderados, entre 10 e 20%; gestores arrojados, entre 20 e 50%; enquanto gestores agressivos, acima de 50%.

4 RESULTADOS

A metodologia proposta será aplicada para avaliar os riscos presentes na indústria automotiva em projetos em linhas de BiW. Com isso, será possível ilustrar a aplicação da metodologia em um caso real.

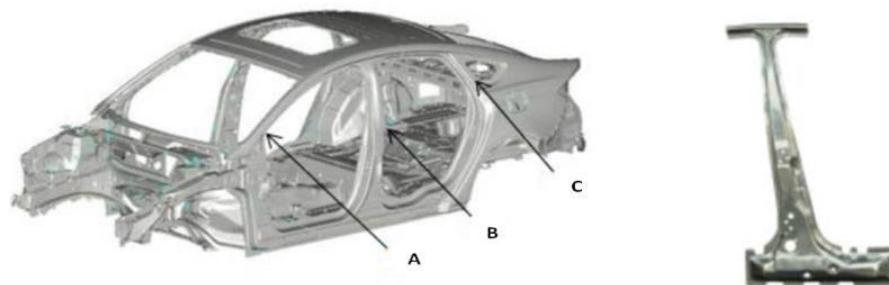
4.1 Caracterização do projeto

Esta seção tem como finalidade caracterizar o projeto através da definição do escopo, da linha de base do cronograma e da linha de base para os custos do projeto. Para isso será apresentado utilizando como informações de entrada o (i) objetivo técnico, (ii) premissas, (iii) requisitos, (iv) marcos, (v) *layout* e (vi) recursos humanos alocados.

4.1.1 Objetivo do projeto

Este projeto tem como um objetivo viabilizar o posicionamento e fixação automático e contínuo do pilar B (Figura 8) da lateral interna de uma carroceria sobre as duas laterais externas de um novo modelo de carro em uma montadora de veículos no Brasil nas linhas de BiW.

Figura 8 - Os três pilares comuns de uma carroceria e suas localizações no veículo.



Fonte: Design and reinforcement of a B-pillar (2017)

4.1.2 Marcos do projeto

O projeto em questão precisa respeitar os marcos do projeto (ver definição na seção 3.1) para o lançamento do novo modelo de veículo a ser produzido na montadora em termos de cronograma. Estes marcos são:

- Revisão do projeto: este marco ocorre após a concepção e a realização do desenho 3D da nova célula. Neste evento, líderes de várias áreas externas e internas ao projeto revisarão toda a concepção para que seja possível seguir com o detalhamento 2D.
- Validação do processo (02/08/2021): neste marco, todas as instalações e parte do comissionamento já deve ter sido realizado. É nesta data em que o processo produtivo do novo modelo será validado.
- Validação do produto (01/03/2022): neste marco, além das instalações e comissionamento estarem completas, a linha deve atender ao tempo de ciclo demandado com o mínimo de falhas para a produção. A partir desta data, será disponibilizado pilares B com as dimensões mais próximas do carro a ser produzido.
- Início da produção (01/08/2022): neste marco, será iniciada a produção do veículo projetado para venda, marcando o encerramento do projeto. As falhas encontradas devem apresentar um impacto próximo de nulo sobre a qualidade e tempo de parada de linha durante a produção.

4.1.3 Premissas do projeto

Para realizar a concepção e implementação desse processo de montagem deve-se ter como premissa:

- Não haverá antecipações nos *milestones* do projeto de lançamento do novo modelo.
- O pilar B a ser posicionado e fixado nas laterais externas foi previamente conformado e possui dimensões e propriedades mecânicas suficientes para resistir aos impactos do processo.
- Nas linhas atuais já existe um processo similar para o posicionamento e fixação do pilar B nos modelos correntes de produção.
- Não será necessário construir uma nova linha, apenas um incremento à linha atual de produção.
- A equipe que realizará a concepção do projeto receberá as corretas dimensões do pilar B, da lateral externa do veículo, bem como o *design* da linha atual de produção em modelos 3D.
- Haverá recursos financeiros e humanos suficientes para atender ao projeto conforme o que for planejado.

- Haverá um livre acesso de compra e recebimento dos materiais e recursos humanos a serem utilizados nas montagens.
- Não haverá cobrança de impostos a serem apontados nos custos do projeto.
- Os dispositivos projetados e construídos estarão sempre autorizados a serem instalados na linha de produção conforme acordado em *Design Review*.
- Haverá disponibilidade de linha para as instalações dos dispositivos durante os finais de semanas por um total de 48 horas semanais.
- Haverá sempre disponibilidade de ar e água para abastecimento das linhas durante os momentos de comissionamento.
- Haverá técnicos de segurança disponíveis para dar suporte nos momentos de instalações dos dispositivos.
- Os recursos humanos disponibilizados detêm do conhecimento técnico suficiente para a realização dos trabalhos.

4.1.4 Requisitos do projeto

Os principais requisitos deste projeto são:

- O projeto deve atender os *milestones* pré-estabelecido para o lançamento do novo modelo.
- O processo produtivo a ser implementado deve ser robotizado, envolvendo o mínimo de recursos humanos possíveis.
- O processo produtivo implementado deve impactar a produção dos modelos correntes o mínimo possível.

4.1.5 *Layout* do projeto

Será utilizado, neste projeto, um *layout* (Figura 9) que respeite o objetivo, premissas e requisitos do projeto. Nesta imagem, os equipamentos de identificados por um círculo azul (01-06) são aqueles já utilizados no processo produtivo atual. Atualmente, o processo produtivo ocorre através da inserção do pilar B na mesa giratória de carregamento (01), o robô (02) através da sua garra de manipulação (03) transfere o pilar B para o sistema de transporte (05), onde se encontra a lateral externa da carroceria com a cola aplicada sobre a região de posicionamento

da peça. Por conseguinte, os robôs (04) e (06) aplicam pontos de solda, garantindo a fixação entre a lateral externa e o pilar em questão.

A concepção para incluir um novo modelo a ser produzido adicionará os círculos (07-09), isto é: uma nova mesa de carregamento (09) destinada apenas a ele, um novo robô (07) e uma nova garra de manipulação (08). Além disso, será necessária uma modificação sobre o sistema transporte (05) para garantir a sustentação de uma lateral externa com uma geometria modificada, a alteração do *software* dos robôs (04) e (06), incluindo novos pontos de solda; e uma cerca garantindo a segurança dos colaboradores no ambiente fabril.

Figura 9 – Layout para o projeto de montagem do pilar B.



Fonte: O autor (2022)

4.1.6 Estrutura analítica do projeto

Com intuito de detalhar melhor o escopo do projeto, bem como suas entregas, foi realizado uma Estrutura Analítica de Projeto (Figura 10) para a montagem do Pilar B sobre a lateral. Como pode ser verificado na EAP, é possível estratificar o projeto em quatro grandes etapas e os seus pacotes de trabalho:

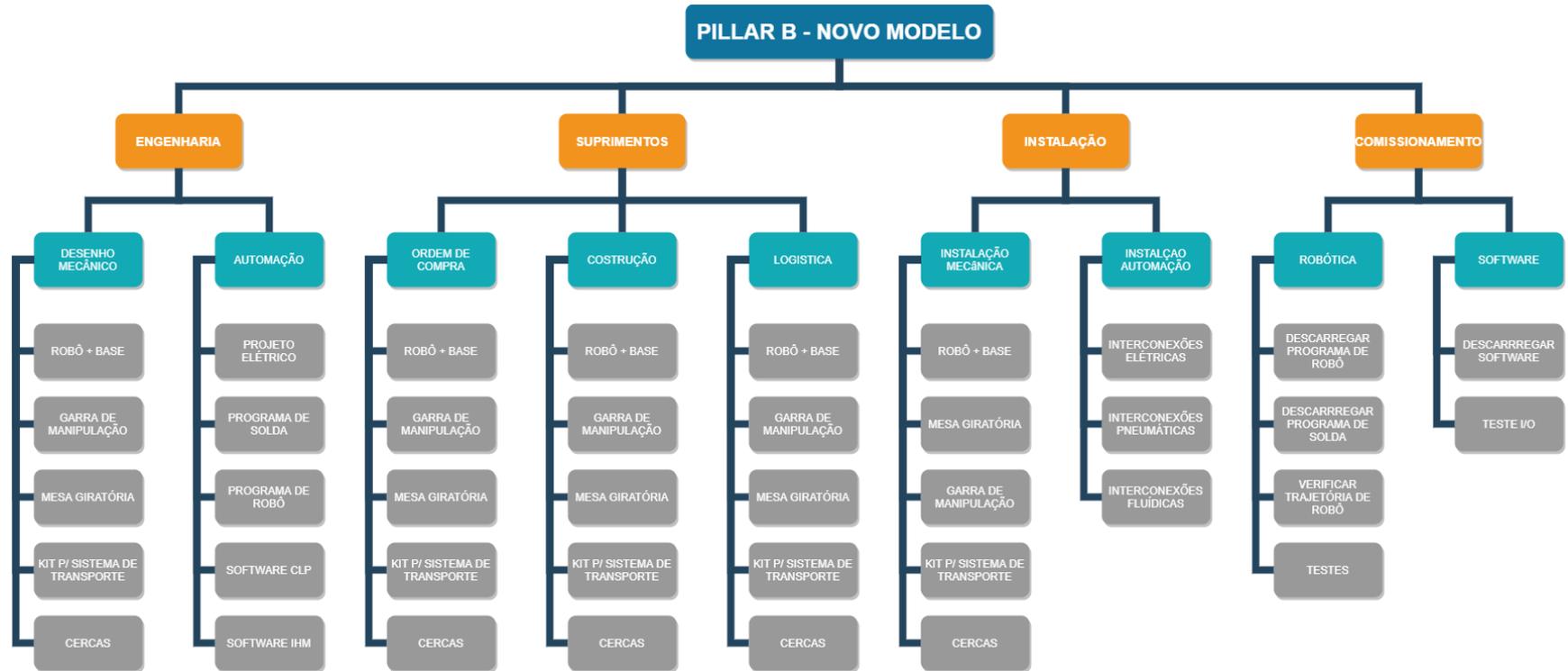
- i. Engenharia: a fase do projeto mecânico se caracteriza pela etapa onde é realizado o desenho mecânico da base de robô de 1000mm de altura, sustentando o robô especificado (NJ290 – 3.0). Além disso, é projetado a garra, a mesa de carregamento, a modificação do sistema de transporte e as cercas. Todos os equipamentos projetados e especificados devem ter a capacidade de sustentar o pilar B e se adequar a sua geometria.

Enquanto, no projeto de automação, é realizado o projeto elétrico, fluídico, pneumático; o programa do robô para simulação da linha e o programa de *software* para o CLP e para o IHM.

- ii. Suprimentos: fase onde são realizadas as ordens de compras dos materiais de acordo com a suas referências, a construção/fornecimento e a logística dos dispositivos projetados e dos materiais especificados.
- iii. Instalação: fase onde é realizada a montagem mecânica do robô com sua base, a mesa giratória, a garra de manipulação, a modificação do sistema de transporte e a cerca. A partir disso, é necessário dar continuidade com as interconexões elétricas, pneumáticas e fluídicas entre os painéis e os equipamentos montados.
- iv. Comissionamento: fase onde é feito o *upload* da programação de robô, solda e *software*. Além disso, é nesta fase onde acontecem os testes de sinal e de trajetória. Após realizado todos os testes, esta etapa se finaliza através do *loaded tryout* onde são disponibilizadas todas as peças para a aplicação do processo na prática e verificado a qualidade do produto final através de inspeções.

É importante ressaltar que o escopo do projeto inclui 02 (duas) células a serem montadas, uma para o pilar B da lateral direita da carroceria e a outra para o pilar B da lateral esquerda da carroceria. No entanto, todas as suas especificações são iguais e suas dimensões são espelhadas. Devido a isto, tudo que for concebido e projetado para uma célula, deve ser duplicado ou espelhado para a outra.

Figura 10 – Estrutura Analítica do Projeto.



Fonte: O autor (2022)

4.1.7 Diagrama de rede e linha de base do cronograma do projeto

Os pacotes de trabalho apresentados e descritos na EAP são sequenciados em formato de atividades afim de se gerar uma estrutura ordenada para o diagrama de rede. Com este sequenciamento, a partir de entrevista com especialistas da área de simulação, projeto mecânico, *manufacturing*, instalações e gestor de projetos da indústria automotiva, foi possível estimar a duração para cada uma das atividades. As estimativas estão distribuídas conforme a Tabela 7, após isso foram sequenciadas através do diagrama de rede (APÊNDICE C), simplificado na Figura 11 e detalhadas no gráfico de Gantt (APÊNDICE D). É possível verificar que os marcos do projeto (ver definição na seção 3.1) são representados como uma atividade com o tempo estimado de 0 dias na cor verde no APÊNDICE D e, na Tabela 7, resumida em uma única atividade.

A partir de uma análise sobre o diagrama de rede, é possível verificar que o caminho crítico está relacionado à especificação, compra, construção, instalação e comissionamento dos novos robôs (sequência 08-11-14-16-17-18-19-20). Isso se deve ao fato de que o tempo de fornecimento de um robô COMAU NJ290 – 3.0 dura em média 14 (catorze) semanas.

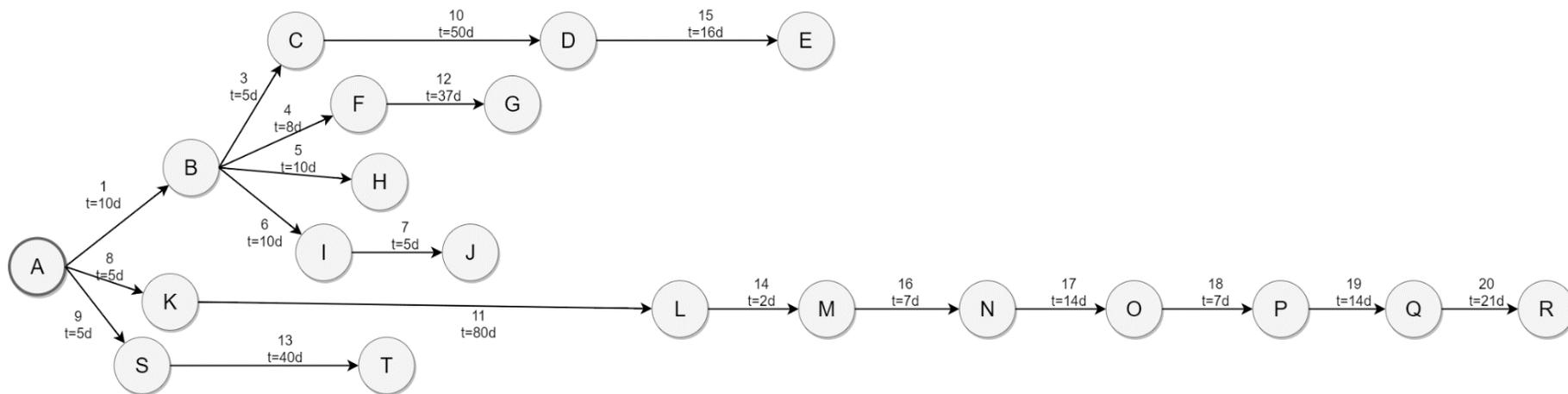
Tabela 7 - Tempo estimado para a realização das tarefas.

ID	Período	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Sucesoras
1	Dia de semana	Projeto 3D	10 dias	Seg 04/01	Sex 15/01		2
2	Dia de semana	Revisão do Projeto	0 dias	Sex 15/01	Sex 15/01	1	3;5;6;4
3	Dia de semana	Projeto 2D	5 dias	Seg 18/01	Sex 22/01	2	10
4	Dia de semana	Projeto elétrico e fluídico	8 dias	Seg 18/01	Qua 27/01	2	12
5	Dia de semana	Programa de solda	10 dias	Seg 18/01	Sex 29/01	2	
6	Dia de semana	Programa de robô	10 dias	Seg 18/01	Sex 29/01	2	7;18
7	Dia de semana	Software CLP e IHM	5 dias	Seg 01/02	Sex 05/02	6	
8	Dia de semana	Especificação de robô	5 dias	Seg 04/01	Sex 08/01		11
9	Dia de semana	Especificação dos materias de segurança	5 dias	Seg 04/01	Sex 08/01		13

10	Dia de semana	Construção dos dispositivos	50 dias	Seg 25/01	Sex 02/04	3	15
11	Dia de semana	Construção e fornecimento dos robôs	80 dias	Seg 11/01	Sex 30/04	8	14
12	Dia de semana	Fornecimento do material fluídico e elétrico	37 dias	Qui 28/01	Sex 19/03	4	17
13	Dia de semana	Fornecimento dos materiais de segurança	40 dias	Seg 11/01	Sex 05/03	9	16
14	Fim de Semana	Instalação do robô e base	2 dias	Sáb 01/05	Dom 02/05	11	16
15	Fim de Semana	Instalação dos dispositivos	6 dias	Sáb 03/04	Dom 04/04	10	
16	Fim de Semana	Instalação da cerca e materias de segurança	2 dias	Sáb 08/05	Dom 09/05	14;9	17
17	Fim de Semana	Instalações e conexões elétricas e pneumáticas	4 dias	Sáb 15/05	Dom 23/05	16	18
18	Fim de Semana	Descarregar programa de robô, programa de solda e software	2 dias	Sáb 29/05	Dom 30/05	6;17	19
19	Fim de Semana	Verificar trajetória de robô e teste I/O	4 dias	Sáb 05/06	Dom 13/06	18	20
20	Fim de Semana	Testes a vazio e com peça	6 dias	Sáb 19/06	Dom 04/07	19	

Fonte: O autor (2022)

Figura 11 – Diagrama de rede simplificado.



Fonte: O autor (2022)

4.1.8 Recursos humanos

Para que as datas determinadas neste plano sejam atendidas, se faz necessário gerenciar a disponibilidade de recursos humanos da seguinte forma ao longo das fases do projeto:

- Engenharia: serão 05 (cinco) engenheiros mecânicos nas fases iniciais do projeto (mês de janeiro); 01 (um) engenheiro eletricitista; 02 (dois) especialistas de processos e 01 (um) engenheiro de *software*.
- Suprimentos: serão 02 (dois) compradores, 01 (um) engenheiro de suprimentos e um (01) responsável pela logística na fase intermediária do projeto.
- Instalação: serão 04 (quatro) mecânicos, 04 (quatro) eletricitistas e 02 (dois) coordenadores de instalação durante a fase final do projeto.
- Comissionamento: serão 02 (dois) técnicos de robótica, 02 (dois) técnicos de CLP e 02 (dois) coordenadores de instalação na fase final do projeto.

4.1.9 Linha de base dos custos do projeto

A partir da elaboração do cronograma, um plano de alocação de recursos humanos e estimativa de custo para os recursos físicos, foi elaborado o orçamento do projeto. O principal objetivo deste orçamento é estabelecer a linha de base de custo sem levar em os riscos envolvidos no projeto.

O orçamento estimado da linha de base do projeto é de R\$2.300.492,00 (Tabela 8), este custo foi dividido entre os pacotes de trabalhos estabelecidos na EAP. Os valores apresentados levam em conta a taxa horária média do valor de mercado dos profissionais alocados no projeto no Brasil no ano de 2021 e os custos de materiais. Essas taxas diárias foram multiplicadas por oito horas de trabalho em um dia e pelo número de dias de trabalho planejado, conforme abaixo:

- Gestão de projetos: Foram planejados 45 (quarenta e cinco) dias de trabalho para realizar o planejamento, controlar o avanço do projeto, reuniões e *reports*. Custo: R\$46.800,00.
- Engenharia: foram planejados 78 (setenta e oito) dias de trabalho incluindo o projeto mecânico e automação. Custo: R\$83.712,00.
- Suprimentos: foram planejados 40 (quarenta) dias de trabalho de compras e negociações. No entanto, os principais custo estão na aquisição dos dois robôs, aproximadamente €90.000,00 cada; a garra de manipulação, mesa giratória que custa em média R\$140.000,00 e R\$100.000,00 a unidade respectivamente, levando em conta

o valor do quilograma de metal e horas de trabalho de usinagem, além dos materiais não construtivos (e.g motorização, sensores, cabos, mangueiras, conectores) que podem superar o valor de R\$300.000,00. Somando a isso, foram considerados R\$67.100,00 de transporte dos materiais. Custo: R\$2.034.300,00.

- Instalação: foram planejados 22 (vinte e dois) dias de trabalho de mão de obra de mecânicos, 24 (vinte e quatro) dias de trabalho de eletricitas e 23 (vinte e três) dias de trabalho de coordenação de instalação. Custo: R\$ 88.160,00.
- Comissionamento: foram planejados 08 (oito) dias de trabalho de técnicos de robótica, 09 (nove) dias de trabalho para técnicos de CLP, 06 (seis) dias de trabalho para coordenador de instalação e 04 (quatro) horas de mecânico. Custo: R\$47.520,00.

Tabela 8 – Estrutura Analítica de Custo do Projeto.

Pacote de trabalho	Trabalho (dias)	Custo Unitário	Custo total
1. Pillar B - NOVO MODELO	-	-	R\$ 2.300.492,00
1.1 Gestão de Projetos	-	-	R\$ 46.800,00
1.1.1 Gestão de Projetos	-	-	R\$ 46.800,00
1.1.1.1 Planejamento	5	R\$ 5.200,00	R\$ 5.200,00
1.1.1.2 Controle	20	R\$ 20.800,00	R\$ 20.800,00
1.1.1.3 Reuniões e <i>reports</i>	20	R\$ 20.800,00	R\$ 20.800,00
1.2 Engenharia	-	-	R\$ 83.712,00
1.2.1 Mecânica	-	-	R\$ 44.800,00
1.2.1.1 Base de robô	3	R\$ 3.360,00	R\$ 3.360,00
1.2.1.2 Garra de manipulação	9	R\$ 10.080,00	R\$ 10.080,00
1.2.1.3 Mesa giratória	15	R\$ 16.800,00	R\$ 16.800,00
1.2.1.4 Kit p/ sistema de transporte	4	R\$ 4.480,00	R\$ 4.480,00
1.2.1.5 Cercas	4	R\$ 4.480,00	R\$ 4.480,00
1.2.1.6 Especificação robô	5	R\$ 5.600,00	R\$ 5.600,00
1.2.2 Automação	-	-	R\$ 38.912,00
1.2.2.1 Projeto elétrico	3	R\$ 3.072,00	R\$ 3.072,00
1.2.2.2 Programa de solda	10	R\$ 10.240,00	R\$ 10.240,00
1.2.2.3 Programa de robô	10	R\$ 10.240,00	R\$ 10.240,00
1.2.2.4 <i>Software CLP</i>	3	R\$ 3.072,00	R\$ 3.072,00
1.2.2.5 <i>Software IHM</i>	2	R\$ 2.048,00	R\$ 2.048,00
1.2.2.6 Especificação materiais de segurança	5	R\$ 5.120,00	R\$ 5.120,00
1.2.2.7 Especificação materiais de automação	5	R\$ 5.120,00	R\$ 5.120,00
1.3 Suprimentos	-	-	R\$ 2.034.300,00
1.3.1 Compras	-	-	R\$ 1.393.200,00

1.3.1.1 Processo de compras	40	R\$ 19.200,00	R\$ 19.200,00
1.3.1.2 Aquisição dos robôs	-	R\$500.000,00	R\$ 1.000.000,00
1.3.1.3 Aquisição dos materiais de automação	-	R\$172.000,00	R\$ 344.000,00
1.3.1.4 Aquisição dos materiais de segurança	-	R\$ 15.000,00	R\$ 30.000,00
1.3.2 Construção	-	-	R\$ 574.000,00
1.3.2.1 Construção - Bases de robô	-	R\$ 10.000,00	R\$ 20.000,00
1.3.2.2 Construção - Garras de manipulação	-	R\$140.000,00	R\$ 280.000,00
1.3.2.3 Construção - Mesas giratórias	-	R\$100.000,00	R\$ 200.000,00
1.3.2.4 Construção - Kits p/ sistema de transporte	-	R\$ 1.000,00	R\$ 2.000,00
1.3.2.5 Construção – Cercas	-	R\$ 36.000,00	R\$ 72.000,00
1.3.3 Logística	-	-	R\$ 67.100,00
1.3.3.1 Logística - Bases de robô	-	R\$ 100,00	R\$ 200,00
1.3.3.2 Logística – Robôs	-	R\$ 30.000,00	R\$ 60.000,00
1.3.3.3 Logística - Materiais de automação	-	R\$ 1.000,00	R\$ 2.000,00
1.3.3.4 Logística - Materiais de segurança	-	R\$ 200,00	R\$ 400,00
1.3.3.5 Logística - Garras de manipulação	-	R\$ 1.000,00	R\$ 2.000,00
1.3.3.6 Logística - Mesas giratórias	-	R\$ 1.000,00	R\$ 2.000,00
1.3.3.7 Logística - Kits p/ sistema de transporte	-	R\$ 50,00	R\$ 100,00
1.3.3.8 Logística – Cercas	-	R\$ 200,00	R\$ 400,00
1.4 Instalação	-	-	R\$ 88.160,00
1.4.1 Mecânica	-	-	R\$ 44.000,00
1.4.1.1 Instalação bases de robô	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.4.1.2 Instalação dos robôs	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.4.1.3 Instalação das mesas giratórias	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.4.1.4 Instalação das garras de manipulação	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.4.1.5 Montar grupos p/ sistema de transporte	1	R\$ 2.000,00	R\$ 4.000,00
1.4.1.6 Posicionar as cercas	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
1.4.2 Automação	-	-	R\$ 44.160,00
1.4.2.1 Interconexões elétricas	4	R\$ 7.360,00	R\$ 14.720,00
1.4.2.2 Interconexões pneumáticas	4	R\$ 7.360,00	R\$ 14.720,00
1.4.2.3 Interconexões fluídicas	4	R\$ 7.360,00	R\$ 14.720,00
1.5 Comissionamento	-	-	R\$ 47.520,00
1.5.1 Robótica	-	-	R\$ 42.240,00

1.5.1.1 Descarregar programa de robô	1	R\$ 960,00	R\$ 1.920,00
1.5.1.2 Descarregar programa de solda	1	R\$ 960,00	R\$ 1.920,00
1.5.1.3 Verificação de trajetória	2	R\$ 5.760,00	R\$ 11.520,00
1.5.1.4 Testes	4	R\$ 13.440,00	R\$ 26.880,00
1.5.2 Software	-	-	R\$ 5.280,00
1.5.2.1 Descarregar <i>software</i>	1	R\$ 880,00	R\$ 1.760,00
1.5.2.2 Teste I/O	2	R\$ 1.760,00	R\$ 3.520,00

Fonte: O autor (2022)

4.2 Identificação e avaliação qualitativa dos riscos

Para a realização desta etapa, foi utilizada a Tabela 1 conforme descrito na seção 2.1.2. De forma a identificar e avaliar qualitativamente os riscos, foi utilizado como informações de entrada as premissas da seção 4.1.3, os requisitos da seção 4.1.4, a linha de base do cronograma e custos das seções 4.1.7 e 4.1.9. Com o intuito de adicionar mais informações técnicas, foram realizadas entrevistas com especialistas de uma indústria automotiva brasileira (vide APÊNDICE B). O APÊNDICE E mostra os resultados da APR. As definições e classificações para cada coluna da APR podem ser vistas na seção 3.2. No total, foram identificados e avaliados qualitativamente 66 eventos iniciadores. Dentre estes, 30 obtiveram uma classificação Baixa e 31 Média (ver Tabela 5), sendo sua maioria da categoria gerenciamento e técnico. Os riscos com classificação Alta foram apenas 5, sendo 1 da categoria comercial e 4 por fatores externos.

Dentre as consequências indesejadas, foram identificadas 37 com possível efeito extracusto e atraso. Além disso, 18 apresentam como consequência indesejada apenas atraso e outros 10 apresentam apenas extracusto.

4.3 Avaliação das frequências

Na realização desta seção foram realizadas as entrevistas semiestruturadas (APÊNDICE B) com especialistas técnicos das áreas e levantados os To e Tl das tarefas do caminho crítico, através da correlação dos riscos, foram definidos os Tp (Tabela 9).

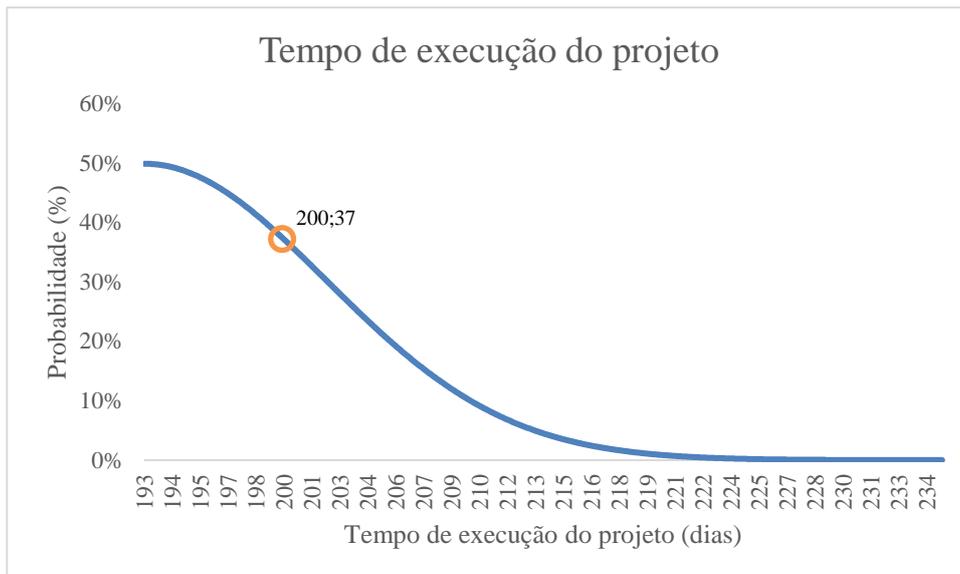
Tabela 9 – Elenco de tempos otimistas, prováveis e pessimistas do caminho crítico.

ID	Nome da Tarefa	Tempo otimista (dias diretos)	Tempo provável (dias diretos)	Tempo pessimista (dias diretos)	Predecessoras	Sucesoras	Riscos
8	Especificação de robô	0	7	7		11	31
11	Construção e fornecimento dos robôs	103	110	145	8	14	10, 16, 41, 42,
14	Instalação do robô e base	7	7	14	11	16	7, 11, 13, 17, 18, 60, 61
16	Instalação da cerca e materias de segurança	7	7	14	14;9	17	7, 11, 12, 13, 17, 18, 25, 49, 61
17	Instalações e conexões elétricas e pneumáticas	7	14	28	16	18	5, 7, 11, 12, 13, 17, 18, 25, 35, 36, 43, 56, 61
18	Descarregar programa de robô, programa de solda e software	7	7	14	6;17	19	13, 14, 15, 17, 18, 23, 27, 28, 61
19	Verificar trajetória de robô e teste I/O	7	14	21	18	20	4, 7, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 27, 28, 37, 50, 61
20	Testes a vazio e com peça	9	16	37	19		4, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 27, 28, 32, 33, 34, 38, 46, 47, 51, 52, 57, 58, 59, 61, 64, 65

Fonte: O autor (2022)

Através dos resultados encontrados, foi calculado o valor de $\sigma=9,69$, conforme Equação 1, $\mu=192,50$; X dentro do intervalo de 193 a 234, e aplicada a Equação 2 para plotar a curva normal (Figura 12). Esta figura pode ser interpretada da seguinte maneira: para $X>192,50$, existe $Y\%$ de probabilidade de que o tempo de execução do projeto será maior que X . A figura destaca que existe 37% de probabilidade do projeto se estender por mais de 200 dias.

Figura 12 – Distribuição normal do tempo de execução do projeto.



Fonte: O autor (2022)

Nesta seção, também como *output*, através das entrevistas com especialistas (APÊNDICE B), foram elencadas as probabilidades de ocorrência do evento iniciador que gerarão possíveis extracustos ao projeto com a severidade classificada como acima de Baixa na APR (Tabela 10).

Tabela 10 – Probabilidade de ocorrência de extracusto.

Nº	Evento iniciador	Possível causa	Prob.	Sev.	Risco	Probabilidade
1	Antecipação do <i>milestone</i> Process Validation	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alto	Média	10%
2	Antecipação do <i>milestone</i> Pre-series	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alto	Média	10%
3	Antecipação do <i>milestone</i> Start of Production	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alto	Média	10%
18	Menos tempo disponível para instalação dos dispositivo durante o final de semana	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Média	Alta	Alta	40%
19	Não disponibilidade de ar e/ou água durante o final de semana	Necessidade da fábrica de diminuir gastos	Baixa	Moderado	Média	15%
29	Aumento significativo no custo do aço	Cenário econômico do país na ocasião	Média	Alta	Alta	40%
30	Aumento no câmbio do euro comparado com o real	Cenário econômico do país na ocasião	Média	Alta	Alta	40%
38	Tempo de ciclo encontrado na prática em desacordo com o previsto no programa de robô	Ausência de kit para velocidade dos robôs e antecipações	Baixa	Moderado	Média	20%
57	Sensorização utilizada na mesa de carregamento não diferenciar o pilar B novo do antigo	Alta similaridade entre as duas peças	Baixa	Alta	Média	20%

62	Mudanças no período de instalação gerar multas contratuais com fornecedores de mão de obra	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Média	Moderado	Média	35%
64	Subdimensionamento na motorização da mesa de carregamento	Não contemplado corretamente o peso da face da mesa giratória e peça	Baixa	Alta	Média	20%
66	Exigência do desenvolvimento do <i>Virtual Commissioning</i>	Necessidade de prevenir maiores impactos do projeto na produção atual	Baixa	Alta	Média	20%

Fonte: O autor (2022)

4.4 Avaliação das consequências e impactos

Nesta etapa, dentre os cenários selecionado no APÊNDICE E, 12 cenários com risco de extracusto (i.e., cenários 1, 2, 3, 18, 19, 29, 30, 38, 57), que apresentam a severidade maior que “Baixa” e frequência maior que "Muito baixa". Com isso, foi utilizada da Tabela 8 e da Equação 6 para o cálculo dos extracustos estimados.

Através destes inputs, foi possível encontrar como resultado as informações descritas na Tabela 11. Estes dados foram utilizados para a quantificação dos riscos (vide seção 4.5).

Tabela 11 – Impactos e probabilidades estimadas dos riscos.

Nº	Evento iniciador	Possível causa	Prob.	Sev.	Risco	Impacto	%Extracusto	Prob.
1	Antecipação do <i>milestone Process Validation</i>	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alta	Média	R\$ 276.000,00	12%	10%
2	Antecipação do <i>milestone Product Validation</i>	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alta	Média	R\$ 276.000,00	12%	10%
3	Antecipação do <i>milestone Start of Production</i>	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Baixa	Alta	Média	R\$ 276.000,00	12%	10%
18	Menos tempo disponível para instalação dos dispositivos durante o final de semana	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Média	Alta	Alta	R\$ 230.000,00	10%	40%
19	Não disponibilidade de ar e/ou água durante o final de semana	Necessidade da fábrica de diminuir gastos	Baixa	Moderado	Média	R\$ 115.000,00	5%	15%
29	Aumento significativo no custo do aço	Cenário econômico do país na ocasião	Média	Alta	Alta	R\$ 230.000,00	10%	40%
30	Aumento no câmbio do euro comparado com o real	Cenário econômico do país na ocasião	Média	Alta	Alta	R\$ 230.000,00	10%	40%

38	Tempo de ciclo encontrado na prática em desacordo com o previsto no programa de robô	Ausência de kit para velocidade dos robôs e antecipações	Baixa	Moderado	Média	R\$ 138.000,00	6%	20%
57	Sensorização utilizada na mesa de carregamento não diferenciar o pilar B novo do antigo	Alta similaridade entre as duas peças	Baixa	Alta	Média	R\$ 230.000,00	10%	20%
62	Mudanças no período de instalação gerar multas contratuais com fornecedores de mão de obra	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Média	Moderado	Média	R\$ 138.000,00	6%	35%
64	Subdimensionamento na motorização da mesa de carregamento	Não contemplado corretamente o peso da face da mesa giratória e peça	Baixa	Alta	Média	R\$ 230.000,00	10%	20%
66	Exigência do desenvolvimento do <i>Virtual Commissioning</i>	Necessidade de prevenir maiores impactos do projeto na produção atual	Baixa	Alta	Média	R\$ 276.000,00	12%	20%

Fonte: O autor (2022)

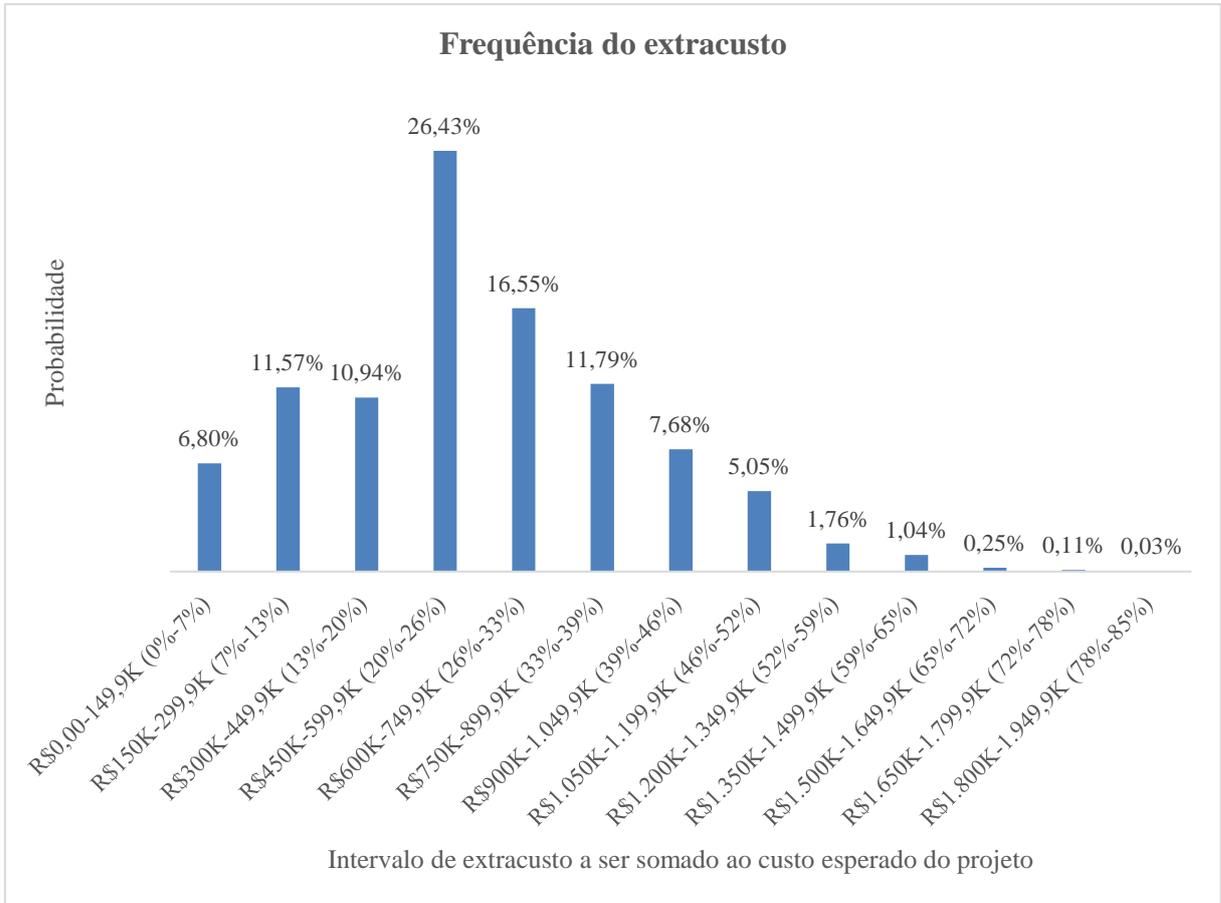
4.5 Quantificação e categorização dos riscos

Nesta seção, foram utilizados como *input* os 12 cenários elencados na seção 4.2 conforme Tabela 11 para a realização da Simulação de Monte Carlo. Com isso, foram executadas 10.000 iterações, representando, cada uma delas, um cenário probabilístico de ocorrência dos riscos. Em cada uma das iterações, foi aplicada a Equação 7.

Através da correlação entre a soma do extracusto de cada risco em cada uma das 10.000 iterações, é verificado o histograma (Figura 13) e a curva S de probabilidade acumulada (Figura 14) como resultado da simulação de Monte Carlo. A Figura 13 pode ser interpretada da seguinte maneira: existe Y% de probabilidade de que, dentre os riscos avaliados quantitativamente, o extracusto a ser somado ao custo esperado do projeto será dentro do intervalo X. Enquanto que a Figura 14 da seguinte maneira: existe Y% de probabilidade de que o extracusto será maior ou igual a X% do custo esperado do projeto.

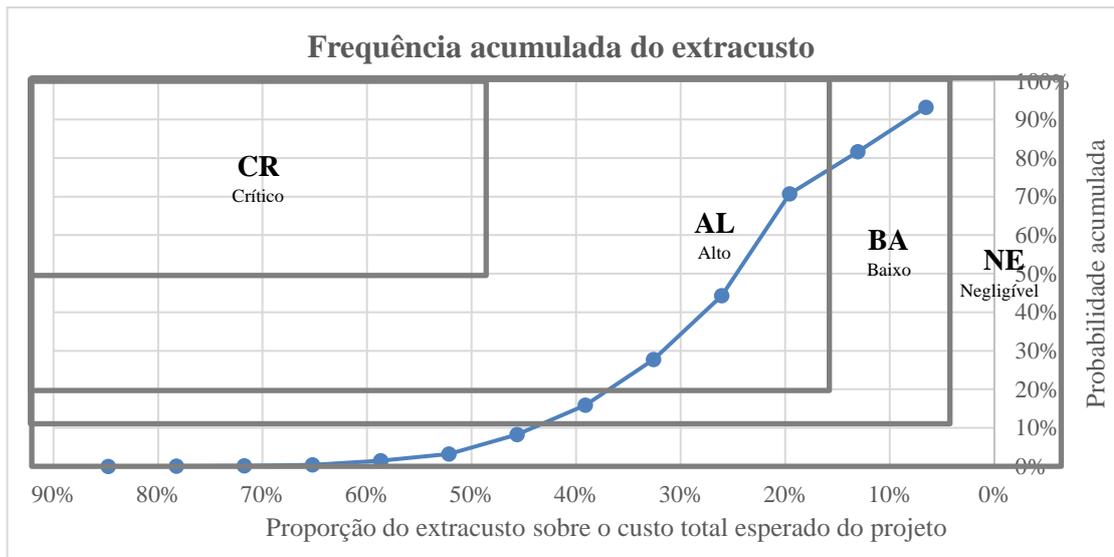
Dentre as faixas de extracusto que se apresentam com maior frequência, pode-se destacar R\$450.000,00 a R\$599.999,00, o que representa 26,43% dos resultados das iterações na simulação, conforme Figura 13. Já na Figura 14, é possível verificar que a categoria de risco é AL (i.e., >20% de probabilidade do extracusto estar acima de 20% do custo esperado do projeto), onde pode-se destacar os seguintes resultados pontuais: existe 44% de probabilidade do extracusto ser acima de 26% do custo esperado do projeto; e 28% de probabilidade de ser acima de 33% do custo esperado do projeto. No entanto, pode-se entender que os principais perigos que incentivam o aumento do significativo da categoria de risco do projeto foram: 18, 29 e 30 (Tabela 11). Com isso, recomenda-se que se estime a reserva emergencial para este projeto de acordo com a tolerância ao risco de cada gestor, conforme Tabela 12.

Figura 13 - Histograma da frequência de extracustos.



Fonte: O autor (2022)

Figura 14 – Curva S - probabilidade acumulada de extracusto do projeto.



Fonte: O autor (2022)

Tabela 12 - Intervalo de reserva emergencial recomendada

Tipo de gestor	Intervalo de probabilidade	Reserva emergencial recomendada
Conservador	<10%	>R\$1.015.624,00 (44%)
Moderado	10-20%	R\$848.090,60 (37%) - R\$1.015.624,00 (44%)
Arrojado	20-50%	R\$567.442,38 (25%) - R\$848.090,60 (37%)
Agressivo	>50%	<R\$567.442,38 (25%)

Fonte: O autor (2022)

5 DISCUSSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvida a metodologia AQRBiW onde, através desta, é possível avaliar, qualificar, quantificar e categorizar riscos em projetos de BiW, de forma a prever uma faixa provável de atraso (vide Figura 12 na seção 4.3) e extracusto do projeto (vide Figura 13 e Figura 14 na seção 4.5) para auxiliar no gerenciamento dos riscos. Nesta seção, primeiro, são discutidas as vantagens e limitações da metodologia proposta no capítulo 3. Segundo, são discutidas as vantagens e limitações dos resultados (capítulo 4) encontrados através da aplicação da metodologia proposta em um caso real em uma montadora de veículos e como eles podem ser úteis para as partes interessadas do projeto.

5.1 Discussão da metodologia

A metodologia desenvolvida neste trabalho teve como principais referências a AQR (DECLERCK, 2002; HAYES, 2019; DUARTE et al., 2019), definindo a sequência de avaliações a serem realizadas, e PMBOK (PMI, 2018) para definir os conceitos relevantes ao gerenciamento de projetos. Com o intuito de caracterizar o cenário estudado, foi realizada a definição de escopo determinado pelo (PMI, 2018) em que determina-se o objetivo técnico do projeto, premissas, requisitos, marcos e recursos envolvidos. Desta forma, foi possível desenvolver a EAP, diagrama de rede, linha de base do cronograma e linha de base de custos do projeto. Apesar da quantidade de *inputs* para a realização desta etapa, se fez necessário da utilização de informações subjetivas, baseadas em experiências de especialistas do projeto para sua caracterização.

Para a identificação dos riscos, foram utilizadas como *input* as informações da caracterização do projeto e as lições aprendidas de especialistas através de entrevistas. Estes riscos são avaliados qualitativamente através da APR adaptada para o AQRBiW, em que exige informações além do usual, como a categoria do risco conforme EAR e o tipo de resposta ao risco, que se limita às opções de escalar, prevenir, transferir, mitigar e aceitar (vide definições na seção 2.1.2). No entanto, estas opções, se bem exploradas, podem contribuir com a redução do impacto do risco sobre o tempo e custo do projeto de forma a aumentar a margem de lucro final, beneficiando escritórios de projetos.

De modo a avaliar a frequência, utilizou-se do caminho crítico verificado no diagrama de rede e, visto os riscos de atraso no cronograma identificados, foram determinados os T_o , T_I e T_p destas atividades. Através desses parâmetros e das equações descritas na seção 3.3,

possibilita-se plotar uma curva normal com o intuito de determinar uma faixa de frequência do tempo de realização deste projeto. Além disso, foram verificados os riscos de extracusto e estimado sua frequência conforme entrevista com especialistas (APÊNDICE B). Nesta etapa, para a determinação da curva gaussiana, limita-se da utilização de 8 atividades do caminho crítico simplificado.

Pelo fato de os cenários de impacto em atraso no cronograma já ter sido contemplado na seção 3.3, o método utilizado na seção 3.4 (Avaliação das consequências e impacto) visa quantificar o extracusto do projeto através da Equação 6.

Por fim, através da avaliação da frequência e impactos dos riscos de extracusto identificados, utilizou-se da simulação de Monte Carlo para plotar um histograma determinando uma faixa de probabilidade para o extracusto total do projeto. Diante desse histograma de extracusto, curva S (seção 3.5) e da curva normal de tempo de execução do projeto (seção 3.3), foram obtidas as faixas de probabilidade para o tempo de execução do projeto e custo para a execução. Através dessa metodologia, foi possível quantificar e categorizar os riscos, fornecendo informação útil para o gerenciamento dos riscos (e.g., para o desenvolvimento de um cronograma mais fidedigno, definição do valor de uma reserva emergencial e uma estimativa probabilística do custo total do projeto) e útil a comunicação dos riscos (e.g., para a comunicação mais assertiva para gestores e partes interessadas do projeto com baixo conhecimento em linguagem matemática probabilística). Desta forma, esta metodologia permite que haja a análise de risco completa do projeto (vide Figura 2), não se limitando apenas a avaliação de risco, mas criando uma interseção entre esta, o gerenciamento e a comunicação dos riscos.

5.2 Discussão dos resultados

A caracterização do projeto contempla a determinação de um objetivo técnico voltado a um projeto de automação de fixação de um pilar B para um novo modelo de carro (seção 4.1.1) em que se apresentam 4 marcos (seção 4.1.2) para a realização do projeto nas fases de engenharia, instalação, comissionamento e fim do projeto para início da produção. Para a execução do projeto foram previstas 13 premissas técnicas e gerencias (seção 4.1.3) e 3 requisitos (seção 4.1.4). Como forma de determinar as atividades a serem realizadas, foi determinado um layout (seção 4.1.5), indicando os itens que devem ser contemplados no escopo. Estes itens são apresentados na EAP (Figura 10) ao longo de 39 pacotes de trabalho divididos entre 9 etapas de nível 3 e 4 etapas de nível 2. Diante da EAP, foram determinadas

109 atividades no gráfico de Gantt (APÊNDICE D), que, de forma a simplificar o diagrama de rede, foram resumidas em 20 principais atividades (Tabela 7). Com o diagrama de rede resumido (Figura 11), encontra-se o caminho crítico nas atividades relacionadas a especificação, construção, instalação e comissionamento dos robôs e seus acessórios devido ao seu alto tempo estimado de fornecimento e transporte, vide seção 4.1.7. Nesta etapa, não foi considerada a probabilidade de os demais caminhos se tornarem caminhos críticos visto os riscos aos quais estas atividades estão expostas. Para a realização do projeto em um tempo hábil, foi determinada uma equipe do projeto (seção 4.1.8) dividido em engenheiros mecânicos, eletricitas, processo, *software*; compradores; técnicos mecânicos, eletricitas, CLP, robô; e coordenadores de instalações. Além disso, foi estimado o custo estimado relacionado às horas de trabalho da equipe e os materiais necessários para a instalação e comissionamento em forma de estrutura analítica de custo (Tabela 8). O custo contabilizado foi de R\$2.300.492,00 em que a sua parcela de material alcança os 88,40% do orçamento total. O valor do homem-hora aplicado para contabilizar os custos dos serviços retrata a realidade do Brasil no ano de 2021, estes valores não devem ser replicados em nenhuma outra circunstância.

A identificação e avaliação qualitativa dos riscos contempla, neste trabalho, 66 cenários de risco, vide APR (APÊNDICE E). Dentre esses, 26 se distribuem com severidades Baixa, Moderada, Alta e Muito alta que terão suas frequências avaliadas. É possível verificar que, da totalidade dos cenários, 56 eventos iniciadores têm como consequência, ao menos, atraso no cronograma e 48 de, ao menos, extracusto. Visto isso, se torna válido que o trabalho se limite em avaliar ambas as consequências indesejadas.

Com a determinação do caminho crítico na seção 4.1.7, foram determinados os tempos otimistas e pessimistas de cada atividade através dos riscos que tem como impacto atraso no cronograma e as entrevistas com especialistas técnicos. Através disso, na avaliação de frequência, foi possível calcular os parâmetros $\sigma=9,69$ (Equação 1) e $\mu=192,50$ (Equação 5), vide seção 4.3. Com essas informações, é plotada a distribuição gaussiana (Figura 12) que apresenta uma faixa de frequência de 37% para o intervalo de que o projeto se encerrará com o tempo acima de 200 dias. Por isso, se faz necessário a divulgação desta probabilidade de atraso para as partes interessadas do projeto. No entanto, é recomendado avaliar em trabalhos futuros a probabilidade de outros caminhos se tornarem caminhos críticos visto a exposição das atividades aos riscos identificados.

A avaliação de consequência e impacto se limita aos riscos de “extracusto” com a severidade maior que Baixa na APR (Tabela 11). Com isso, foram elencados os 12 cenários (i.e., cenários 1, 2, 3, 18, 19, 29, 30, 38, 57), em que se deve dar atenção aos riscos 18 (Menos

tempo disponível para instalação dos dispositivos durante o final de semana), 29 (Aumento significativo no custo do aço) e 30 (Aumento no câmbio do euro comparado com o real) por apresentarem a classificação do risco Alta.

A avaliação quantitativa, pelo fato de estar direcionado apenas aos riscos de extracusto, se utilizou dos mesmos 12 cenários; e, através das 10.000 iterações para a simulação de Monte Carlo, tornou-se possível a plotagem do histograma de frequência de extracusto (Figura 13). Visto isso, recomenda-se utilizar de uma reserva emergencial com base no tipo de gestor. Dentre as faixas que se apresentam com maior frequência, pode-se destacar R\$450.000,00 a R\$599.999,00, o que representa 26,43% dos resultados das iterações na simulação, conforme Figura 13. No entanto, pode ser imprudente utilizar de uma reserva emergencial nesta faixa de extracusto, pois existe a probabilidade de 44,26% de o extracusto ultrapassar esse valor. Por consequência, é possível verificar na Figura 14 que a categoria do risco do projeto é AL, ou seja, comunica às partes interessadas de forma simples e direta que este projeto tem mais de 20% de probabilidade de ter um custo extra maior que 20% do esperado.

A reserva emergencial a ser implementada neste projeto depende do quão tolerante ao risco é o gestor, conforme a Tabela 12. No entanto, o resultado apresentado informa que o perfil mais conservador recomenda uma faixa de reserva emergencial acima de 44% do custo esperado do projeto, o que poderia, por vezes, inviabilizar o financiamento completo do projeto por falta de caixa.

6 CONCLUSÃO

Através de um estudo de caso real, este trabalho propôs uma metodologia inédita de AQRBiW para avaliação de riscos em projetos para o lançamento de um novo veículo nas linhas de BiW em montadoras de carros. Como principais vantagens da metodologia proposta, tem-se: (i) levar em conta as especificidades técnicas deste tipo de projeto e prever de modo probabilístico o custo e tempo de entrega do projeto, o que é um grande diferencial em relação a abordagens determinísticas, visto que a incerteza é uma característica inerente a qualquer projeto; (ii) é capaz de avaliar qualitativamente, quantificar, categorizar os riscos e propor uma reserva de emergência de acordo com a tolerância ao risco dos gestores do projeto; e (iii) permitir a análise de risco do projeto de forma integrada, criando uma interseção entre a avaliação, comunicação e gerenciamento dos riscos, contribuindo com os escritórios de projetos pela diminuição dos impactos dos riscos sobre o projeto através de suas respostas, aumentando a margem de lucro final. Como principais limitações, tem-se: a ausência de avaliação do impacto dos riscos sobre escopo, segurança e qualidade do projeto; a ausência de uma análise de sensibilidade; e a ausência de aprofundamento na determinação da frequência de cada risco.

Os principais resultados encontrados nas avaliações realizadas são: (i) existe uma probabilidade de 37% de que o projeto se estenda por mais de 200 dias; (ii) o risco do projeto foi categorizado como AL. Visto isso, é possível verificar que o trabalho se limitou à avaliação das consequências sobre o custo e tempo. Propõe-se em trabalhos futuros:

- levar em conta as consequências dos riscos sobre escopo, segurança e qualidade;
- avaliar quantitativamente os riscos em outras linhas de produção em montadoras de veículos (e.g., *stamping*, *painting* e *final assembly*);
- explorar de forma mais detalhada o gerenciamento e comunicação de riscos em projetos em montadores de veículos;
- conduzir uma análise de sensibilidade de forma a facilitar a visualização dos perigos que apresentam parâmetros com maior impacto sobre o projeto.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA. **Brazil - Automotive sales volume, 2018**. Disponível em: <https://www.marklines.com/en/statistics/flash_sales/salesfig_brazil_2018#dec>. Acesso em: 7 set. 2021.
- ANFAVEA. **Brazil - Automotive sales volume, 2019**. Disponível em: <https://www.marklines.com/en/statistics/flash_sales/salesfig_brazil_2019>.
- ANFAVEA. **Brazil - Automotive sales volume, 2021**. Disponível em: <https://www.marklines.com/en/statistics/flash_sales/automotive-sales-in-brazil-by-month-2021>.
- AZEVEDO, L. et al. Methodology for Maritime Risk Assessment in Ports due to Meteorological and Oceanographic Factors: The Case of the port of Suape, Brazil. **Risk Analysis**, v. 1, n. 10, p. 1–17, 2021.
- AZUKO TECHNICAL INSTITUTE. **What is Body-in-White**. Disponível em: <<https://www.azukotech.com/post/2020/02/28/what-is-biw>>.
- BARBOSA, E. G. et al. Project management methodology for boat designing: The case of an as-built project of a 33-foot boat in a Brazilian shipyard. **Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part B: International Journal of Small Craft Technology**, v. 161, p. B17–B30, 2019.
- DECLERCK, L. **Guidelines for quantitative risk assessment “Purple book”**. 3. ed. Rijksoverheid: GEVAARLIJKE STOFFEN, 2002.
- DREYFUS, G. **Elementary statistics**. 2. ed. Houston, T: RICE UNIVERSITY, 2006. v. 207
- DUARTE, H. O. **A Methodology for Quantitative Ecological Risk Assessment for Industrial Accidents**. Recife: Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Programa de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- DUARTE, H. O. et al. A novel quantitative ecological and microbial risk assessment methodology: theory and practice. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 25, n. 6, p. 1–24, 2019.
- DUARTE, H. O. et al. A probabilistic epidemiological model for infectious diseases: The case of COVID-19 at global-level. **Risk Analysis**, v. 1, p. 1–19, 2022.

- ERICSON, C. A. **Hazard Analysis Techniques for System Safety**. 1st. ed. Fredericksburg, Virginia: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- ETGES, A. P.; SOUZA, J. S.; NETO, F. J. K. Risk management for companies focused on innovation processes. **Production**, v. 27, p. 1–15, 2017.
- FREEMAN, R. A. CCPS Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. **Plant/operations progress**, v. 9, n. 4, p. 231–235, 1990.
- HAYES, A. **Risk Analysis**. 2. ed. Chennai: Wiley, 2019.
- HULT, G. T. M.; CRAIGHEAD, C. W.; KETCHEN, D. J. Risk uncertainty and supply chain decisions: A real options perspective. **Decision Sciences**, v. 41, n. 3, p. 435–458, 2010.
- IKPE, A. E.; ORHORHORO, E. K.; GOBIR, A. Design and reinforcement of a B-pillar for occupants safety in conventional vehicle applications. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences**, v. 2, n. 1, p. 37–52, 2017.
- KALOS, M. H.; WHITLOCK, P. A. **Monte Carlo Methods**. 2nd. ed. Weinheim: WILEY, 2008.
- MABROUKI, C.; BENTALEB, F.; MOUSRIJ, A. A decision support methodology for risk management within a port terminal. **Safety Science**, v. 63, p. 124–132, 2014.
- OLIVEIRA, U. R.; ROCHA, H. M. Gerenciamento de riscos operacionais em montadoras de veículos. **Pretexto**, v. 15, n. 4, p. 27–45, 2014.
- PATCHONG, A.; LEMOINE, T.; KERN, G. Improving car body production at PSA Peugeot Citroën. **Interfaces**, v. 33, n. 1, 2003.
- PELLEGRINELLI, S. et al. Multi-robot spot-welding cells for car-body assembly: Design and motion planning. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 44, p. 97–116, 2017.
- PMI. **PMBOK: a guide to the project management body of Knowledge**. 6. ed. Pensilvânia: PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018. v. 1
- PRADEEP, S. A. et al. **Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future**. 2. ed. Greenville, SC: Elsevier Inc., 2017.
- ROWE, W. D. **An “Anatomy” of Risk**. Washington, D.C.: Wiley, 1975. v. 2
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operation Management**. 6th. ed. London: Pearson Education Limited, 2010.

TAG, W. L. **Gerenciando Projetos de sucesso com o PRINCE2**. 6ª ed. London: AXELOS, 2017.

TEAF, C. Risk Assessment as a Tool for Water Resources Decision-Making in Central Asia. **Kluwer Academic**, v. 1, p. 1–15, 2004.

ZANFELICCE, R. L. et al. **Gestão de Riscos em Projetos no Setor Automotivo por Meio de Equipes Virtuais**. International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability. **Anais...**São Paulo, Brasil: 2017

APÊNDICE A – TABELA DE PARÂMETROS

Parâmetros	Símbolo	Descrição	Considerações e equações
Tempo provável	Tl	Tempo provável para finalizar uma atividade em dias	Tabela 9
Tempo pessimista	Tp	Tempo pessimistas para finalizar uma atividade em dias	Tabela 9
Tempo otimista	To	Tempo otimista para finalizar uma atividade em dias	Tabela 9
Tempo estimado	Te	Tempo estimado para finalizar uma atividade em dias	$\frac{To+4Tl+Tp}{6}$
Desvio padrão	σ	Desvio padrão de um conjunto de atividades do projeto	$\sqrt{\frac{\sum_{i=atividade\ inicial}^{atividade\ final} (Tpi - Toi)^2}{36}}$
Média	μ	Tempo médio de finalização do projeto	$\sum Te$
Intervalo de tempo	X	Intervalo de tempo selecionado para se avaliar a frequência	Figura 12
Variável aleatória	z	Variável aleatória para cálculo de probabilidade em uma curva normal	$\frac{X-\mu}{\sigma}$
Custo extra de material	Cm	Extracusto com compras de materiais para o projeto	Custo do material aplicado no mercado caso evento iniciador ocorra
Custo de horas extras com engenharia	Ce	Extracusto com horas extras de engenheiros do projeto	1120 * <i>Dias extras</i>
Custo com hora extra de suprimentos	Cs	Extracusto com horas extras da equipe de suprimentos	480 * <i>Dias extras</i>
Custo com hora extra de instalações	Ci	Extracusto com horas extras da equipe de instalações	1920 * <i>Dias extras</i>

Custo com horas extras de comissionamento	C_c	Extracusto com horas extras da equipe de comissionamento	$1840 * \text{Dias extras}$
Custo do risco	C_r	Extracusto de cada risco ocorrido no projeto	$C_m + C_e + C_s + C_i + C_c$
Custo do risco total	C_{rT}	Extracusto de todos os riscos ocorridos no projeto	$\sum C_r$
Probabilidade de ocorrência	P_e	Probabilidade de ocorrência de um evento iniciador	Tabela 10
Número aleatório	N_a	Número aleatório auxiliar para a simulação de cada iteração	0 ou 1

Fonte: O autor (2022)

APÊNDICE B - ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA DE AQRBIW

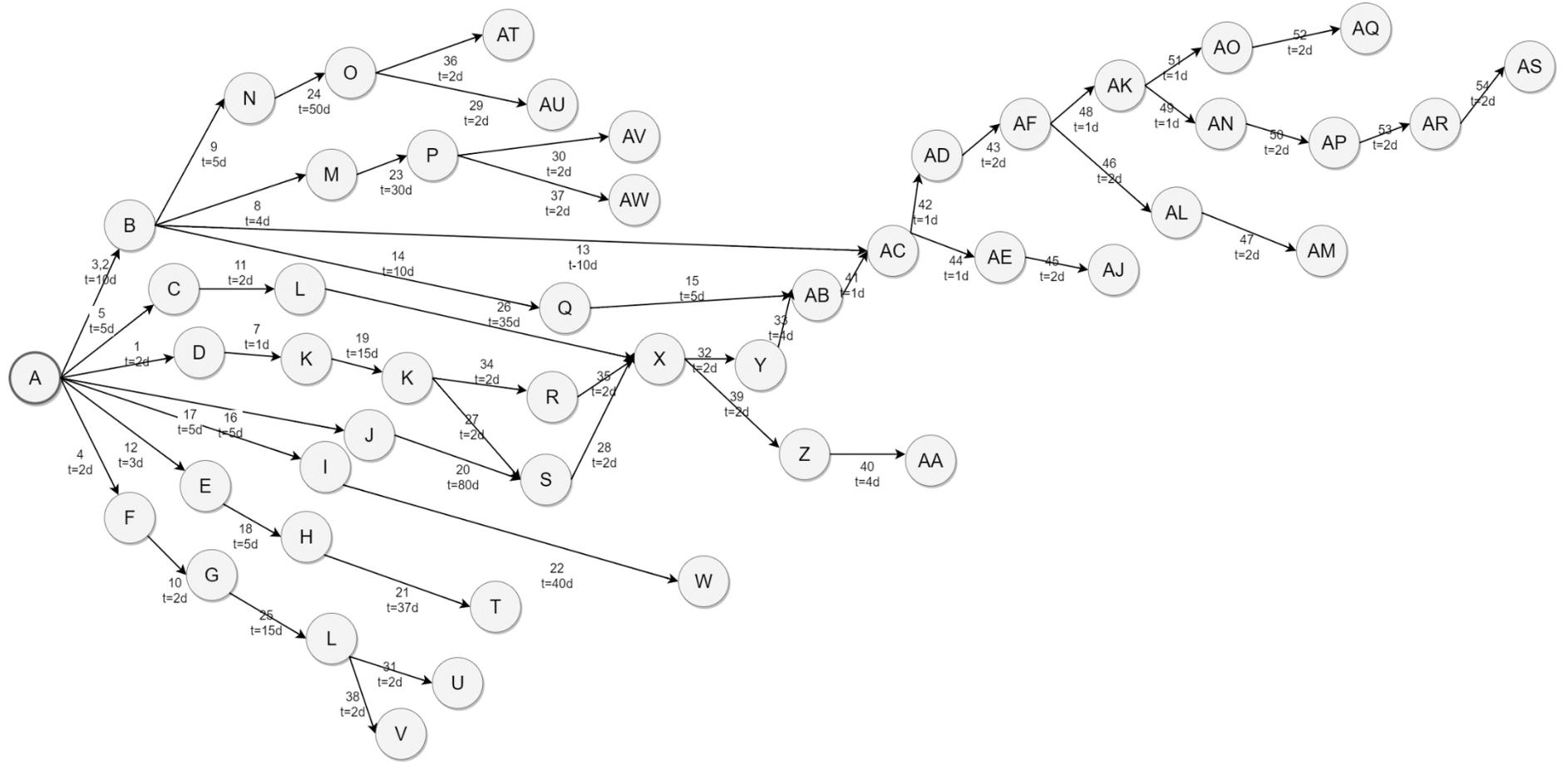
Seção	Especialização	Pergunta
Identificação e avaliação qualitativa dos riscos	Gerente de projetos	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos nas fases de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento de um projeto de BiW? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
	Engenheiro mecânico	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos na fase de projeção mecânica em dispositivos de BiW? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
	Engenheiro de automação	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos na fase de projeção elétrica, pneumática, fluídica, <i>software</i> e robô em dispositivos de BiW? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
	Engenheiro de suprimentos	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos na fase emissão de ordem de compra, construção/fornecimento e logística? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
	Coordenador de instalação	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos na fase de instalação mecânica, elétrica, fluídica e pneumática? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
	Coordenador de instalação	1. Com base em lições aprendidas, quais são os principais riscos envolvidos na fase de comissionamento, testes de robô e <i>software</i> ? 2. Quais são as suas classificações de probabilidade e severidade?
Avaliação das frequências	Gerente de projetos	1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> , baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções? 2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade? 3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?

Engenheiro mecânico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> na fase de desenho 2D e 3D, baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções? 2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade? 3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?
Engenheiro de automação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> na fase de automação, baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções? 2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade? 3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?
Engenheiro de suprimentos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> na fase suprimentos, baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções? 2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade? 3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?
Coordenador de instalação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> na fase de instalação mecânica e elétrica, baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções? 2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade? 3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?

	Coordenador de instalação	<ol style="list-style-type: none">1. Visto as atividades sequenciadas no diagrama de rede e gráfico de <i>Gantt</i> na fase de comissionamento, baseado em lições aprendidas, qual é o tempo provável necessário para as suas execuções?2. Visto o caminho crítico encontrado, quais são os tempos otimistas de cada atividade?3. Visto os riscos de extracusto classificados com impacto acima de muito baixo, com base em lições aprendidas, qual a probabilidade de ocorrência?
--	---------------------------	--

Fonte: O autor (2022)

APÊNDICE C - DIAGRAMA DE REDE DETALHADO



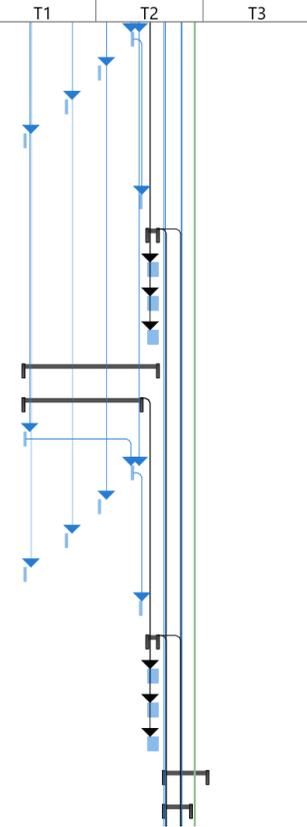
Fonte: O autor (2022)

APÊNDICE D - CRONOGRAMA DO PROJETO PILLAR B - NEW MODEL

Id	Calendário da tarefa	Modo da Tarefa	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessor	Sucessor	2021			
									T1	T2	T3	
1			Pilar B - Novo modelo	410 dias	04/01/21	01/08/22						
2			Marcos	400 dias	15/01/21	01/08/22						
3			Revisão do projeto	0 dias	15/01/21	15/01/21	11;12	17;18;2				
4			Validação do processo	0 dias	02/08/21	02/08/21						
5			Validação do produto	0 dias	01/03/22	01/03/22						
6			Início de produção	0 dias	01/08/22	01/08/22						
7			Engenharia	25 dias	04/01/21	05/02/21						
8			Mecânica	15 dias	04/01/21	22/01/21						
9			Desenho 3D	10 dias	04/01/21	15/01/21		24;23				
10			Base de robô	2 dias	04/01/21	05/01/21		16				
11			Garra de manipulação	5 dias	04/01/21	08/01/21		3				
12			Mesa giratória	10 dias	04/01/21	15/01/21		3				
13			Grupo sistema de transporte	2 dias	04/01/21	05/01/21		19				
14			Cerca	2 dias	04/01/21	05/01/21		20				
15			Desenho 2D	13 dias	06/01/21	22/01/21						
16			Base de robô	1 dia	06/01/21	06/01/21	10	33				
17			Garra de manipulação	4 dias	18/01/21	21/01/21	3	49				
18			Mesa giratória	5 dias	18/01/21	22/01/21	3	53				
19			Grupo sistema de transporte	2 dias	06/01/21	07/01/21	13	57				
20			Cerca	2 dias	06/01/21	07/01/21	14	61				
21			Automação	15 dias	18/01/21	05/02/21						
22			Projeto elétrico & fluídico	3 dias	18/01/21	20/01/21	3	30				
23			Programa de solda	10 dias	18/01/21	29/01/21	9	93;103				
24			Trajectoria de erobô	10 dias	18/01/21	29/01/21	9	25;92;1				
25			CLP	3 dias	01/02/21	03/02/21	24	26				
26			IHM	2 dias	04/02/21	05/02/21	25	96;106				
27			Specifications	18 dias	04/01/21	27/01/21						
28			Robô	5 dias	04/01/21	08/01/21		37				
29			Material de segurança	5 dias	04/01/21	08/01/21		45				
30			Materiais elétricos/pneumáticos/fluídicos	5 dias	21/01/21	27/01/21	22	41				

31		Fim de S	Suprimentos	32 dias	07/01/21	30/04/21				
32		Padrão	Base de robô (1+1)	15 dias	07/01/21	27/01/21				
33		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	07/01/21	13/01/21	16	34		
34		Padrão	Construir	5 dias	14/01/21	20/01/21	33	35		
35		Padrão	Logística	5 dias	21/01/21	27/01/21	34	67;79		
36		Padrão	Robô (1+1)	80 dias	11/01/21	30/04/21				
37		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	11/01/21	15/01/21	28	38		
38		Padrão	Construir	60 dias	18/01/21	09/04/21	37	39		
39		Padrão	Logística	15 dias	12/04/21	30/04/21	38	68;80		
40		Padrão	Material elétrico/fluidico/pneumático	37 dias	28/01/21	19/03/21				
41		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	28/01/21	03/02/21	30	42		
42		Padrão	Fornecimento	30 dias	04/02/21	17/03/21	41	43		
43		Padrão	Logística	2 dias	18/03/21	19/03/21	42			
44		Padrão	Materiais de segurança	40 dias	11/01/21	05/03/21				
45		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	11/01/21	15/01/21	29	46		
46		Padrão	Fornecimento	30 dias	18/01/21	26/02/21	45	47		
47		Padrão	Logística	5 dias	01/03/21	05/03/21	46			
48		Padrão	Garra de manipulação (1+1)	30 dias	22/01/21	04/03/21				
49		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	22/01/21	28/01/21	17	50		
50		Padrão	Construir	20 dias	29/01/21	25/02/21	49	51		
51		Padrão	Logística	5 dias	26/02/21	04/03/21	50	70;82		
52		Padrão	Mesa giratória (1+1)	50 dias	25/01/21	02/04/21				
53		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	25/01/21	29/01/21	18	54		
54		Padrão	Construir	40 dias	01/02/21	26/03/21	53	55		
55		Padrão	Logística	5 dias	29/03/21	02/04/21	54	69;81		
56		Padrão	Grupo p/ sistema de transporte (1+1)	15 dias	08/01/21	28/01/21				
57		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	08/01/21	14/01/21	19	58		
58		Padrão	Construir	5 dias	15/01/21	21/01/21	57	59		
59		Padrão	Logística	5 dias	22/01/21	28/01/21	58	71;83		
60		Padrão	Cerca	35 dias	08/01/21	25/02/21				
61		Padrão	Emitir ordem de compra	5 dias	08/01/21	14/01/21	20	62		
62		Padrão	Construir	25 dias	15/01/21	18/02/21	61	63		
63		Padrão	Logística	5 dias	19/02/21	25/02/21	62			
64		Fim de S	Instalações	34 dias	30/01/21	23/05/21				
65		Fim de S	Instalações bodyside direita	34 dias	30/01/21	23/05/21				
66		Fim de S	Mecânica	30 dias	30/01/21	09/05/21			74;75;7	
67		Fim de S	Instalar base de robô	2 dias	30/01/21	31/01/21	35	68		

Id	Calendário da tarefa	Modo da Tarefa	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Predecessor	Sucessor	2021		
									T1	T2	T3
68	Fim de S		Instalar robô	2 dias	01/05/21	02/05/21	39;67	72			
69	Fim de S		Instalar mesa giratória	2 dias	03/04/21	04/04/21	55				
70	Fim de S		Instalar garra de manipulação	2 dias	06/03/21	07/03/21	51				
71	Fim de Semana		Montar grupo p/ sistema de transporte	2 dias	30/01/21	31/01/21	59				
72	Fim de S		Posicionar as cercas	2 dias	08/05/21	09/05/21	68				
73	Fim de S		Automação	4 dias	15/05/21	23/05/21	92;102				
74	Fim de S		Interconexões elétricas	4 dias	15/05/21	23/05/21	66				
75	Fim de S		Interconexões fluídicas	4 dias	15/05/21	23/05/21	66				
76	Fim de S		Interconexões pneumáticas	4 dias	15/05/21	23/05/21	66				
77	Fim de S		Instalação bodyside esquerda	34 dias	30/01/21	23/05/21					
78	Fim de S		Mecânica	30 dias	30/01/21	09/05/21	86;87;8				
79	Fim de S		Instalar base de robô	2 dias	30/01/21	31/01/21	35	80			
80	Fim de S		Instalar robô	2 dias	01/05/21	02/05/21	79;39	84			
81	Fim de S		Instalar mesa giratória	2 dias	03/04/21	04/04/21	55				
82	Fim de S		Instalar garra de manipulação	2 dias	06/03/21	07/03/21	51				
83	Fim de S		Montar grupo p/ sistema de transporte	2 dias	30/01/21	31/01/21	59				
84	Fim de S		Posicionar as cercas	2 dias	08/05/21	09/05/21	80				
85	Fim de S		Automação	4 dias	15/05/21	23/05/21	92;102				
86	Fim de S		Interconexões elétricas	4 dias	15/05/21	23/05/21	78				
87	Fim de S		Interconexões fluídicas	4 dias	15/05/21	23/05/21	78				
88	Fim de S		Interconexões pneumáticas	4 dias	15/05/21	23/05/21	78				
89	Fim de S		Comissionamento	12 dias	29/05/21	04/07/21					
90	Fim de S		Comissionamento bodyside direita	8 dias	29/05/21	20/06/21					



91		Fim de S	Robótica	4 dias	29/05/21	06/06/21	102
92		Fim de S	Descarregar programa de robô	1 dia	29/05/21	29/05/21	73;2496;93;9
93		Fim de S	Descarregar programa de solda	1 dia	30/05/21	30/05/21	23;9294
94		Fim de S	Verificação de trajetória	2 dias	05/06/21	06/06/21	92;9398
95		Fim de S	Software	3 dias	30/05/21	06/06/21	
96		Fim de S	Descarregar software	1 dia	30/05/21	30/05/21	26;9297
97		Fim de S	Test I/O	2 dias	05/06/21	06/06/21	96
98		Fim de S	Teste sem peça	2 dias	12/06/21	13/06/21	94 99
99		Fim de S	Teste com peça	2 dias	19/06/21	20/06/21	98
100		Fim de S	Comissionamento bodyside esquerda	8 dias	12/06/21	04/07/21	
101		Fim de S	Robótica	4 dias	12/06/21	20/06/21	
102		Fim de S	Descarregar programa de robô	1 dia	12/06/21	12/06/21	73;24106;103
103		Fim de S	Descarregar programa de solda	1 dia	13/06/21	13/06/21	102;2104
104		Fim de S	Verificação de trajetória	2 dias	19/06/21	20/06/21	102;1108
105		Fim de S	Software	3 dias	13/06/21	20/06/21	
106		Fim de S	Descarregar software	1 dia	13/06/21	13/06/21	102;2107
107		Fim de S	Test I/O	2 dias	19/06/21	20/06/21	106
108		Fim de S	Teste sem peça	2 dias	26/06/21	27/06/21	104 109
109		Fim de S	Teste com peça	2 dias	03/07/21	04/07/21	108



Fonte: O autor (2022)

APÊNDICE E - PLANILHA DE ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO

Nº	Evento iniciador	Categoria	Possível causa	Conseq. indesejada	Área de impacto	Prob.	Sev.	Risco	Resposta ao risco
1	Antecipação do <i>milestone</i> Process Validation	Gerenciamento	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Extracusto	Gestão de projetos	Baixa	Alta	Média	Transferir

2	Antecipação do <i>milestone Pre-series</i>	Gerenciamento	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Extracusto	Gestão de projetos	Baixa	Alta	Média	Transferir
3	Antecipação do <i>milestone Start of Production</i>	Gerenciamento	Necessária antecipação do lançamento do veículo	Extracusto	Gestão de projetos	Baixa	Alta	Média	Transferir
4	Esforços causados pela garra de manipulação gerar amassados no Pilar B	Técnico	Grupos mecânicos causarem impactos sobre a peça	Extracusto, Atraso	Engenharia	Muito alta	Muito baixa	Média	Mitigar
5	Impossibilidade técnica de replicar sensorização utilizada no modelo atual	Técnico	Sensorização corrente gera um nível alto de microparasadas	Extracusto, Atraso, Escopo	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
6	Dimensões do Pilar B modificadas no início do Process Validation	Técnico	Melhorias dimensionais de segurança implementadas na peça	Extracusto, Atraso	Engenharia	Muito alta	Baixa	Média	Aceitar
7	Obstáculos encontrados na prática não previstos no <i>layout</i> recebido	Técnico	Não foi realizado um <i>as-built</i> da linha antes da simulação	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Alta	Muito baixa	Baixa	Prevenir
8	Menos engenheiros mecânicos disponíveis no projeto do que o planejado	Técnico	Engenheiros alocados em outros projetos	Atraso	Engenharia	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
9	Menos especialistas de processo disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Especialistas de processos alocados em outros projetos	Atraso	Engenharia	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
10	Menos compradores disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Compradores alocados em outros projetos	Atraso	<i>Supply Chain</i>	Baixa	Moderada	Média	Mitigar

11	Menos mecânicos disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Mecânicos alocados em outros projetos	Atraso	Instalações	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
12	Menos eletricitas disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Eletricistas alocados em outros projetos	Atraso	Instalações	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
13	Menos coordenadores de instalação disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Coordenadores alocados em outros projetos	Atraso	Instalações	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
14	Menos técnicos de robótica disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Técnicos de robótica alocados em outros projetos	Atraso	Comissionamento	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
15	Menos técnicos de CLP disponíveis no projeto do que o planejado	Gerenciamento	Técnicos de CLP alocados em outros projetos	Atraso	Comissionamento	Baixa	Moderada	Média	Mitigar
16	Não autorização de entrada de material na fábrica por um período	Externo	Não autorização de emissão de notas fiscais no período	Atraso	Instalações	Alta	Baixa	Média	Escalar
17	Atraso na mobilização de recursos humanos a serem utilizados nas instalações	Gerenciamento	Não disponibilização das documentações completas	Atraso	Instalações	Média	Baixa	Baixa	Prevenir
18	Menos tempo disponível para instalação dos dispositivos durante os finais de semana	Externo	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Extracusto, Atraso	Instalações	Média	Alta	Alta	Escalar
19	Não disponibilidade de ar e/ou água durante o final de semana	Técnico	Necessidade da fábrica de diminuir gastos	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Moderada	Média	Escalar
20	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais engenheiros mecânicos	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Engenharia	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir

21	Conhecimento técnico limitado por parte do engenheiro eletricista	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Engenharia	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
22	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais especialistas de processo	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Engenharia	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
23	Conhecimento técnico limitado por parte do engenheiro de <i>software</i>	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
24	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais mecânicos	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
25	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais eletricistas	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
26	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais coordenadores de instalação	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
27	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais técnicos de robótica	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
28	Conhecimento técnico limitado por parte de um ou mais técnicos de CLP	Gerenciamento	Falta de capacitação adequada para realizar as atividades designadas	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir

29	Aumento significativo no custo do aço	Externo	Cenário econômico do país na ocasião	Extracusto	<i>Supply Chain</i>	Média	Alta	Alta	Mitigar
30	Aumento no câmbio do euro comparado com o real	Externo	Cenário econômico do país na ocasião	Extracusto	Gestão de projetos	Média	Alta	Alta	Mitigar
31	Atraso no recebimento das dimensões do Pilar B	Gerenciamento	Atraso da engenharia de produto	Atraso	Engenharia	Muito baixa	Baixa	Baixa	Escalar
32	Solução inicial para a garra de manipulação não garantir a fixação ideal da peça	Técnico	Impossibilidade de prever o dinamismo da peça em simulação	Extracusto, Atraso	Engenharia	Alta	Baixa	Média	Mitigar
33	Solução inicial para a mesa de carregamento não garantir a fixação ideal da peça	Técnico	Impossibilidade de prever o dinamismo da peça em simulação	Extracusto, Atraso	Engenharia	Alta	Baixa	Média	Mitigar
34	Modificação no sistema de transporte gerar amassados na peça	Técnico	Impossibilidade de prever o dinamismo da peça em simulação	Extracusto, Atraso	Engenharia	Alta	Baixa	Média	Mitigar
35	Projeto elétrico não contempla a alimentação de todos os grupos mecânicos	Técnico	Adição de grupos mecânicos não previstos	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Muito baixa	Baixa	Mitigar
36	Projeto fluídico não contempla a alimentação de todos os grupos	Técnico	Adição de grupos mecânicos não previstos	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Muito baixa	Baixa	Mitigar
37	Impossibilidade mecânica de aplicação de certos pontos de solda	Técnico	Interferência entre a pinça de solda e a peça	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
38	Tempo de ciclo encontrado na prática em desacordo com o previsto no programa de robô	Técnico	Ausência de kit para velocidade dos robôs e antecipações	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Moderada	Média	Transferir

39	Software programado não contempla todas as sensorizações conectadas	Técnico	Adição de grupos mecânicos não previstos	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Muito baixa	Baixa	Mitigar
40	Sobrecarga de trabalho para o fornecedor de usinagem dos dispositivos	Comercial	Fornecedor de usinagem já empenhado em outros trabalhos	Atraso	Supply Chain	Média	Moderada	Média	Prevenir
41	Atraso de recebimento de materiais para a fabricação do robô	Comercial	Escassez de material disponível no mercado	Atraso	Supply Chain	Média	Alta	Alta	Mitigar
42	Canal vermelho na parametrização da importação do robô	Externo	Fiscalização da importação solicitar inspeção detalhada da documentação do material	Atraso	Supply Chain	Baixa	Alta	Média	Prevenir
43	Subestimar quantidade necessária de eletrocalhas para as instalações elétricas	Técnico	Obstáculos mecânicos solicitam maior quantidade de eletrocalha	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Muito baixa	Baixa	Mitigar
44	Canal vermelho na parametrização da importação dos materiais elétricos	Externo	Fiscalização da importação solicitar inspeção detalhada da documentação do material	Atraso	Instalações	Baixa	Muito alta	Alta	Mitigar
45	Oxidação encontrada nas garras de manipulação durante a logística	Externo	Não utilização de películas nas embalagens	Extracusto	Instalações	Baixa	Muito baixa	Baixa	Prevenir
46	Modificação no sistema de transporte não garantir o posicionamento correto da peça sempre	Técnico	Impossibilidade de prever o dinamismo da peça em simulação	Extracusto, Atraso	Engenharia	Alta	Baixa	Média	Mitigar

47	Face da mesa giratória não garantir o posicionamento correto da peça sempre	Técnico	Impossibilidade de prever o dinamismo da peça em simulação	Extracusto, Atraso	Engenharia	Alta	Baixa	Média	Mitigar
48	Atraso no recebimento dos materiais comerciais para a montagem dos dispositivos	Comercial	Ausência de insumo na fabricação dos materiais importados	Extracusto, Atraso	Instalações	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
49	Mesa giratória de carregamento gerar interferência com a cerca de segurança	Técnico	Não realizada a simulação de rotação da mesa com cerca	Extracusto	Instalações	Baixa	Muito baixa	Baixa	Prevenir
50	Grampos pneumáticos da garra de manipulação oferecer interferência com a mesa giratória	Técnico	Não verificado em simulação todos os sequenciamentos de abertura e fechamento de grampo	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Baixa	Baixa	Baixa	Mitigar
51	Mudanças na dimensão do pilar B gerar problemas de sustentação na garra de manipulação	Técnico	Posicionamento dos grampos não se adequa às novas dimensões da peça	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Alta	Baixa	Média	Transferir
52	Programa de solda descarregado não respeitar a tolerância de desvio do ponto de solda para o processo	Técnico	Variáveis do processo não previstos no programa	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Alta	Baixa	Média	Mitigar
53	Falha na ativação de sensores indutivos para presença de peça	Técnico	Danificação dos sensores na fase de comissionamento	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
54	Erros dimensionais encontrados nos materiais construídos	Técnico	Erros desenvolvidos durante a usinagem	Atraso	<i>Supply Chain</i>	Baixa	Moderada	Média	Mitigar

55	Iluminação implementada na linha antiga não ser o suficiente para a área complementar	Técnico	Localização das luminárias estar distante do novo setor	Extracusto	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
56	Cabos presentes dentro das eletrocalhas não apresentam organização conforme norma	Técnico	Pouco tempo disponível para instalações elétricas	Extracusto	Instalações	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
57	Sensorização utilizada na mesa de carregamento não diferenciar o pilar B novo do antigo	Técnico	Alta similaridade entre as duas peças	Extracusto	Comissionamento	Baixa	Alta	Média	Mitigar
58	Ventosas magnética da garra de manipulação não oferecer sustentação a peça	Técnico	Menos contato do que o esperado entre as ventosas e a peça	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
59	Danificação de peças dos dispositivos durante a fase de comissionamento	Técnico	Implementação de ciclo em automático antes de testar todas as condições	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
60	Mecânicos alocados sem que houvesse o material para ser instalado	Gerenciamento	Erro no planejamento de recebimento de materiais	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Prevenir
61	Coordenador de instalação sobrecarregado com atividades de outros projetos no momento das instalações	Gerenciamento	Erro no planejamento de atividades	Atraso	Instalações	Baixa	Moderada	Média	Prevenir
62	Mudanças no período de instalação gerar muitas contratuais com fornecedores de mão de obra	Comercial	Necessidade de utilizar a linha para produzir durante fins de semana	Extracusto, Atraso	Instalações	Média	Moderada	Média	Transferir
63	Desastres naturais impossibilitar a locomoção	Externo	Desastres naturais	Atraso	Instalações	Baixa	Baixa	Baixa	Aceitar

	dos recursos para as instalações								
64	Subdimensionamento na motorização da mesa de carregamento	Técnico	Não contemplado corretamente o peso da face da mesa giratória e peça	Extracusto, Atraso	Instalações	Baixa	Alta	Média	Mitigar
65	Taxa de <i>splash</i> de solda acima do tolerado	Técnico	Pinça de solda entra em contato com cola e área de <i>gap</i>	Extracusto, Atraso	Comissionamento	Média	Baixa	Baixa	Mitigar
66	Exigência do desenvolvimento do <i>Virtual Commissioning</i>	Técnico	Necessidade de prevenir maiores impactos do projeto na produção atual	Extracusto, Atraso	Engenharia	Baixa	Alta	Média	Transferir

Fonte: O autor (2022)