

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Everton Prado Evangelista

**Análise da viabilidade da implementação de um robô obsoleto para aplicação
de solda a ponto**

Betim

2024

Everton Prado Evangelista

**Análise da viabilidade da implementação de um robô obsoleto para aplicação
de solda a ponto**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa

Betim

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

E92a Evangelista, Everton Prado
Análise da viabilidade da implementação de um robô obsoleto para aplicação de solda a ponto / Everton Prado Evangelista. – 2024.

47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa

1. Robótica. 2. Soldagem. 3. Indústria automobilística. 4. Autocad.
5. Engenharia de Controle e Automação. I. Evangelista, Everton Prado.
II. Título.

CDU: 681.5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

Aos 27 dias do mês de novembro do ano de 2024, às 21:00 horas, iniciou-se a apresentação pública do Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Controle e Automação, pelo(a) discente Everton Prado Evangelista, intitulado "Análise da viabilidade da implementação de um robô obsoleto para aplicação de solda a ponto", tendo como orientador(a) o(a) Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa. O início dos trabalhos se deu com a apresentação da Banca Examinadora que foi composta pelos seguintes membros: **Welinton La Fontaine Lopes, Arthur Hermano Rezende Rosa e Daniel Almeida Godinho**. O discente iniciou sua apresentação, expondo seu trabalho durante 20 minutos. Os membros da banca apresentaram seus questionamentos e sugestões que foram respondidos pelo discente. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se, sem a presença do discente e do público, para fazer a avaliação final do trabalho apresentado. Em conclusão, a Banca Examinadora deliberou que o Trabalho de Conclusão de Curso foi:

(X) Aprovado. A versão final do TCC, atendidas as exigências apresentadas pela Banca Examinadora.

O conceito atribuído ao TCC foi **B** e a nota **88,0**. Eu, Arthur Hermano Rezende Rosa, Presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que será assinada por mim e pelos demais membros da Banca.

*O não cumprimento das exigências pelo(a) discente no prazo estabelecido implicará na sua reprovação.

Betim, 27 de novembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Hermano Rezende Rosa, Professor**, em 27/11/2024, às 22:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Almeida Godinho, Professor Substituto**, em 27/11/2024, às 23:19, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Welinton La Fontaine Lopes, Professor**, em 27/11/2024, às 23:44, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a Deus pela dádiva da vida, pela saúde que me concedeu e por permanecer ao meu lado nos momentos mais desafiadores que enfrentei.

À minha esposa, Letícia, pela dedicação, paciência e apoio incondicional ao compreender a importância pessoal e profissional deste curso.

Agradeço imensamente a todos os meus familiares, amigos e colegas, cuja presença e auxílio foram inestimáveis ao longo da minha jornada acadêmica.

À toda a equipe docente, pela orientação, compreensão e profissionalismo demonstrados durante a elaboração deste trabalho.

Um agradecimento especial aos professores Arthur Hermano Rezende Rosa e Leandro Freitas De Abreu, por dedicarem parte de seu valioso tempo para avaliar este estudo.

Também manifesto minha gratidão aos professores e servidores do IFMG, que, apesar das adversidades e limitações de uma instituição pública, se esforçam para oferecer um ensino de qualidade.

*"Confia no Senhor de todo o teu coração
e não te estribes no teu próprio
entendimento. Reconhece-o em todos os
teus caminhos, e ele endireitará as tuas
veredas."*

(Provérbios 3:5-6)

RESUMO

A indústria automobilística busca constantemente otimizar seus processos produtivos, visando maior eficiência, qualidade e competitividade. A automação robótica surge como uma aliada estratégica nesse cenário, possibilitando a automatização de tarefas repetitivas e perigosas, além de aumentar a precisão e a produtividade. Este trabalho propõe a integração de um robô obsoleto à linha de produção de uma montadora de automóveis para automatizar a soldagem de pontos no teto dos carros. O objetivo é eliminar essa etapa de uma operação anterior que se encontra saturada no tempo de ciclo, buscando aumento de produtividade e confiabilidade da linha. A pesquisa utiliza os softwares AutoCAD, Siemens NX e Process Simulate para desenvolver o layout, modelar o cenário, simular e validar a proposta. Por meio da modelagem virtual da linha de produção e do robô, o estudo avalia a viabilidade técnica da solução e com integração do robô a linha de produção é otimizada.

Palavras-chave: Automação Robótica; Indústria Automobilística; Soldagem; Robô Obsoleto; Viabilidade Técnica.

ABSTRACT

The automobile industry constantly seeks to optimize its production processes, aiming for greater efficiency, quality, and competitiveness. Robotic automation emerges as a strategic ally in this scenario, enabling the automation of repetitive and hazardous tasks, in addition to increasing precision and productivity. This study proposes the integration of an obsolete robot into the production line of an automobile manufacturer to automate spot welding on car roofs. The objective is to remove this step from a previous operation that is saturated in cycle time, aiming to increase productivity and line reliability. The research utilizes AutoCAD, Siemens NX, and Process Simulate software to develop the layout, model the scenario, simulate, and validate the proposal. Through virtual modeling of the production line and robot, the study assesses the technical feasibility of the solution, optimizing robot integration.

Keywords: Robotic Automation; Automotive Industry; Welding; Obsolete Robot; Technical viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Veículo produzido por meio da linha de produção em estudo	14
Figura 2	– Robô manipulador disponível vs. Robô atual da operação	15
Figura 3	– Representação de solda por resistência	18
Figura 4	– Diâmetro mínimo do ponto de solda.	19
Figura 5	– Pinças de solda com geometrias variadas	20
Figura 6	– Representação dos eixos de um robô.	21
Figura 7	– Interferência entre robôs operando em áreas próximas	22
Figura 8	– Ambiente virtual de simulação	23
Figura 9	– Sequência de carregamento	24
Figura 10	– Pontos que serão deslocados.	25
Figura 11	– Layout 2D atual da operação	26
Figura 12	– Layout 2D proposto para a operação	27
Figura 13	– Primeira modelagem 3D da proposta de layout	28
Figura 14	– Layout 3D com base de 2000 mm	29
Figura 15	– Layout 3D proposto para a linha de produção.	30
Figura 16	– Mínima distância entre robôs atuais e o novo robô e base	31
Figura 17	– Mínima distância entre os robôs na simulação da operação.	32
Figura 18	– Mínima distância entre o robô proposto e o teto na simulação.	33
Figura 19	– Tempo da operação com o novo robô	34
Figura 20	– Representação da simulação para validar o processo em 4 frames.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de tempos da implementação do novo robô.	35
Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos e meios de análise utilizados.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
RSW	Resistant Weld Spot
DMU	Digital Mockup

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Definição do Problema.....	14
1.3	Objetivos	15
1.4	Organização do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Soldagem a ponto	17
2.1.1	Pinça de solda	19
2.2	Robôs	20
2.3	Simulação	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	Desenvolvimento do Layout 2D	25
3.2	Desenvolvimento do Layout 3D	28
3.3	Simulação da operação	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5	CONCLUSÃO	39
	APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DO PROGRAMA DO ROBÔ	42
	APÊNDICE B – VISUALIZAÇÃO DA MONTAGEM DO CARRO	45
	APÊNDICE C – VISUALIZAÇÃO DO MODELAMENTO DO TETO	46

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística está constantemente buscando maneiras de otimizar seus processos de produção para aumentar a eficiência e reduzir custos. Nesse contexto, a automação desempenha um papel fundamental, proporcionando maior precisão e rapidez nas operações. Este trabalho analisa a proposta de adicionar um robô obsoleto em uma montadora de automóveis para realizar soldas a ponto no teto de um carro.

A simulação computacional do comportamento de produtos em processos de industrialização apresenta benefícios como a redução de custos e tempo de desenvolvimento. No caso da união de chapas metálicas por solda a ponto, essa ferramenta permite otimizar o processo e garantir a qualidade do produto final. “(...) a simulação fornece um meio para validar se as melhores decisões estão sendo tomadas e evitar as caras técnicas de tentativa e erro que são demoradas e de natureza interrompedoras.” (HARREL et al., 2000).

1.1 Justificativa

A robotização de tarefas repetitivas e de alto risco é uma tendência crescente, e a soldagem a ponto no teto dos carros é um exemplo de processo que se beneficia dessa tecnologia. Ávila *et al.* (2017) destaca que a soldagem por resistência elétrica a ponto se destaca na indústria automotiva, principalmente devido à sua alta produtividade, fácil automatização, manuseio simplificado e baixo custo operacional, em comparação com outras técnicas de soldagem.

Segundo Sales (2019), indústrias de diversos ramos, como alimentício, química, mineração, papel e celulose, entre outras, utilizam a automação para aperfeiçoar seus processos produtivos e, conseqüentemente, aumentar a segurança dos processos, a segurança operacional, a qualidade e a produtividade.

Neste contexto, este trabalho propõe o estudo de caso da implementação de um robô para soldagem a ponto em uma montadora de automóveis. Atualmente, essa operação é realizada por um sistema automático saturado no tempo de ciclo, gerando gargalos na produção. A introdução de um robô visa otimizar o processo, reduzindo o tempo de ciclo e, conseqüentemente, aumentando a capacidade produtiva da linha de montagem.

Figura 1 – Veículo produzido por meio da linha de produção em estudo



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

1.2 Definição do Problema

O presente trabalho foi desenvolvido pela necessidade de otimização de uma operação de soldagem a ponto no teto do carro, visando atender otimizar a produção desse modelo. A proposta é verificar se um recurso existente na empresa pode contribuir para a melhoria do processo, sem a necessidade de um grande investimento inicial.

Conforme detalhado na Figura 2, observa-se que o robô disponível apresenta dimensões inferiores em relação aos modelos da linha atual. Seu braço de 2,2 metros contrasta com os 2,5 metros dos demais robôs, o que configura uma redução de 12%. Em termos de capacidade de carga, o robô disponível também apresenta valores inferiores aos dos modelos da linha atual. Sua capacidade de 110 kg se contrapõe aos 170 kg suportados pelos demais robôs, o que representa uma redução de 35%.

Figura 2 – Robô manipulador disponível vs. Robô atual da operação.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é avaliar a viabilidade da proposta de adicionar um robô obsoleto na linha de produção da montadora para realizar soldas a ponto no teto do carro, com o intuito de reduzir o tempo de uma operação crítica para a produção do modelo atualmente. Para alcançar esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Introduzir o robô obsoleto no layout 2D atual e verificar se a linha suporta mais um robô.
- Realizar a modelagem 3D da operação.
- Simular o processo de produção utilizando o software Process Simulate da Siemens.

- Analisar os resultados da simulação e verificar se o robô disponível é adequado para a aplicação.

1.4 Organização do Trabalho

No início deste estudo, o primeiro capítulo aborda a introdução e a contextualização do problema em foco. Na sequência, o segundo capítulo abordará o embasamento teórico essencial para a compreensão e execução do projeto. O terceiro capítulo detalhará os materiais e métodos utilizados, incluindo o desenvolvimento do novo layout 2D, modelagem 3D e simulação do processo. Por fim, o quarto capítulo discorrerá sobre os resultados alcançados ao longo da pesquisa e se o robô obsoleto poderá ser utilizado na operação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

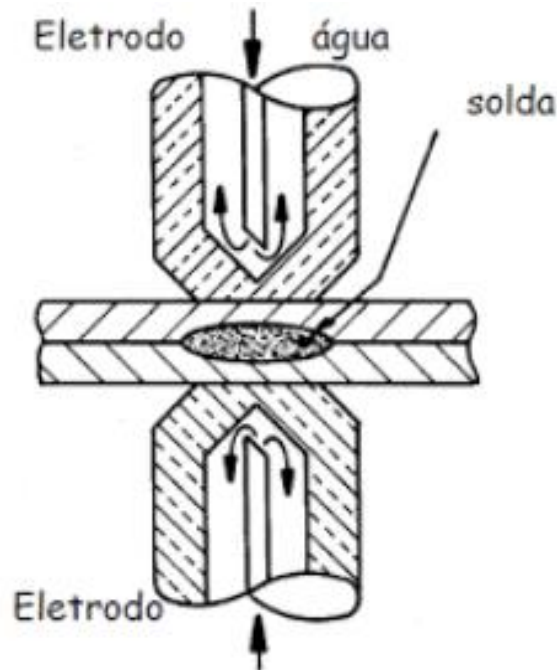
No presente capítulo, empreender-se-á uma análise expositiva sobre os fundamentos teóricos subjacentes aos princípios operacionais da soldagem a ponto, ressaltando sua relevância intrínseca no contexto do processo de fabricação industrial. Ademais, será destacada a imprescindibilidade da aplicação de técnicas de simulação em ambientes bidimensionais e tridimensionais, visando à validação precisa e abrangente de configurações de linhas produtivas.

2.1 Soldagem a ponto

“A soldagem por resistência elétrica, do inglês Resistant Spot Weld (RSW), abrange um conjunto de processos que têm como resultado a união das superfícies de contato pela energia via calor obtido por efeito Joule e com a aplicação de pressão.” (BATISTA, 2020). Dentre os métodos empregados para essa forma de soldagem, os mais prevalentes na indústria contemporânea incluem a soldagem a ponto, a soldagem por costura, a soldagem por projeção e a soldagem a topo. Neste estudo, focalizaremos especificamente no processo de solda a ponto utilizando a técnica de soldagem por resistência elétrica.

De acordo com a descrição de Douglas Ruiz (2005), a soldagem por resistência do tipo ponto é um método de união de peças onde ocorre a fusão dos materiais mediante a aplicação simultânea de pressão mecânica e calor, gerado por corrente elétrica, utilizando eletrodos de cobre. Esta técnica resulta na junção das peças, garantindo que a região soldada adquira propriedades físicas que se equiparem ou superem aquelas dos metais originais.

Figura 3 – Representação de solda por resistência



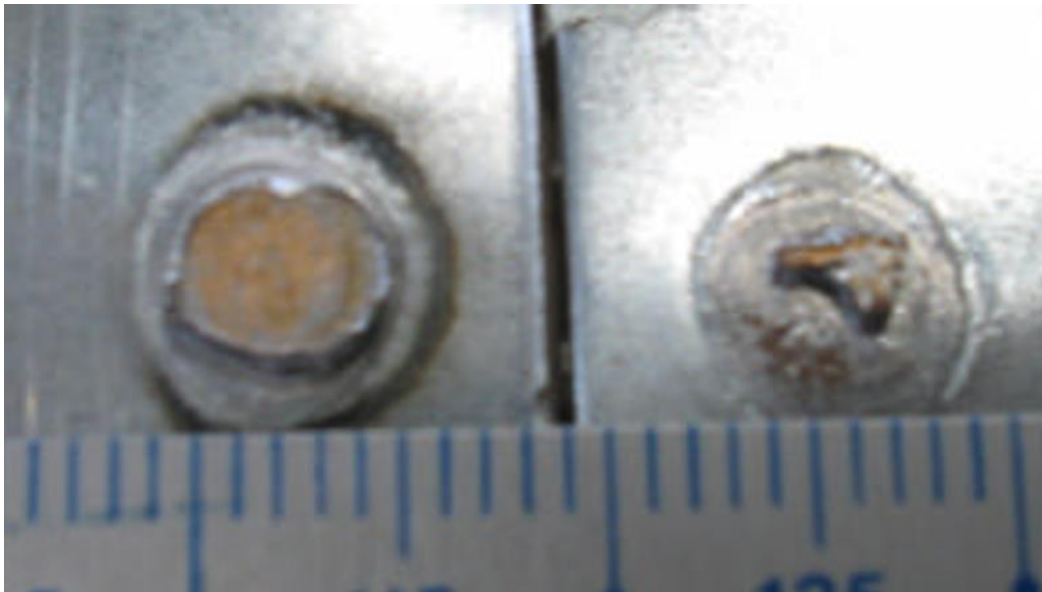
Fonte: CORRÊA (2017).

Para realizar o procedimento de soldagem, é necessário que um dos eletrodos entre em contato com a superfície de uma das chapas, enquanto o outro eletrodo se aproxima da superfície da peça que será unida à primeira. Ambos os eletrodos devem permanecer alinhados durante a operação. Esta condição requer espaço para posicionar o equipamento, o que pode limitar a execução do processo em determinados locais. É comum aplicar a soldagem por pontos em chapas com espessuras variando de 0,5 mm a 3,2 mm. (RWMA, 2003).

A geração de calor é influenciada pela densidade de corrente elétrica, pela resistência do material ao fluxo de corrente e pelo tempo de aplicação da energia necessária para o aquecimento. É crucial que a resistência do material seja substancialmente maior que a dos eletrodos, garantindo o aquecimento das peças na interface de solda sem superaquecer os eletrodos. Além da resistividade do material, a resistência na interface de solda é afetada pelas condições da superfície, pelas características dos eletrodos e pela pressão exercida na junta (AWS, 2007).

Após a formação do ponto de solda, é necessário que ele atenda aos requisitos mínimos de diâmetro estabelecidos pelas normas, além de apresentar uma penetração adequada. Visualmente, o ponto deve possuir uma forma circular com uma leve concavidade, de modo que não seja necessário nenhum procedimento adicional de acabamento, exceto em casos de pintura (RWMA, 2003).

Figura 4 – Diâmetro mínimo do ponto de solda.



Fonte: BRANCO (2004).

2.1.1 Pinça de solda

As pinças utilizadas no processo de soldagem podem ser manuseadas manualmente ou por meio de automação robótica. Para a soldagem manual, a localização dos pontos a serem soldados é determinada por guias. Por outro lado, no caso da solda robotizada, a trajetória é programada utilizando um sistema de coordenadas específico.

Devido às restrições impostas pelas próprias características geométricas dos componentes do veículo, como, por exemplo, a solda em cavidades ou locais estreitos, existe uma diversidade de tipos de pinças de solda instaladas na linha de produção, com diferentes formas e dimensões. Essas variações visam evitar qualquer colisão com a carroceria e assegurar a perpendicularidade essencial para garantir a qualidade das soldagens (SCHIBELBAIN, 2021).

Figura 5 – Pinças de solda com geometrias variadas.



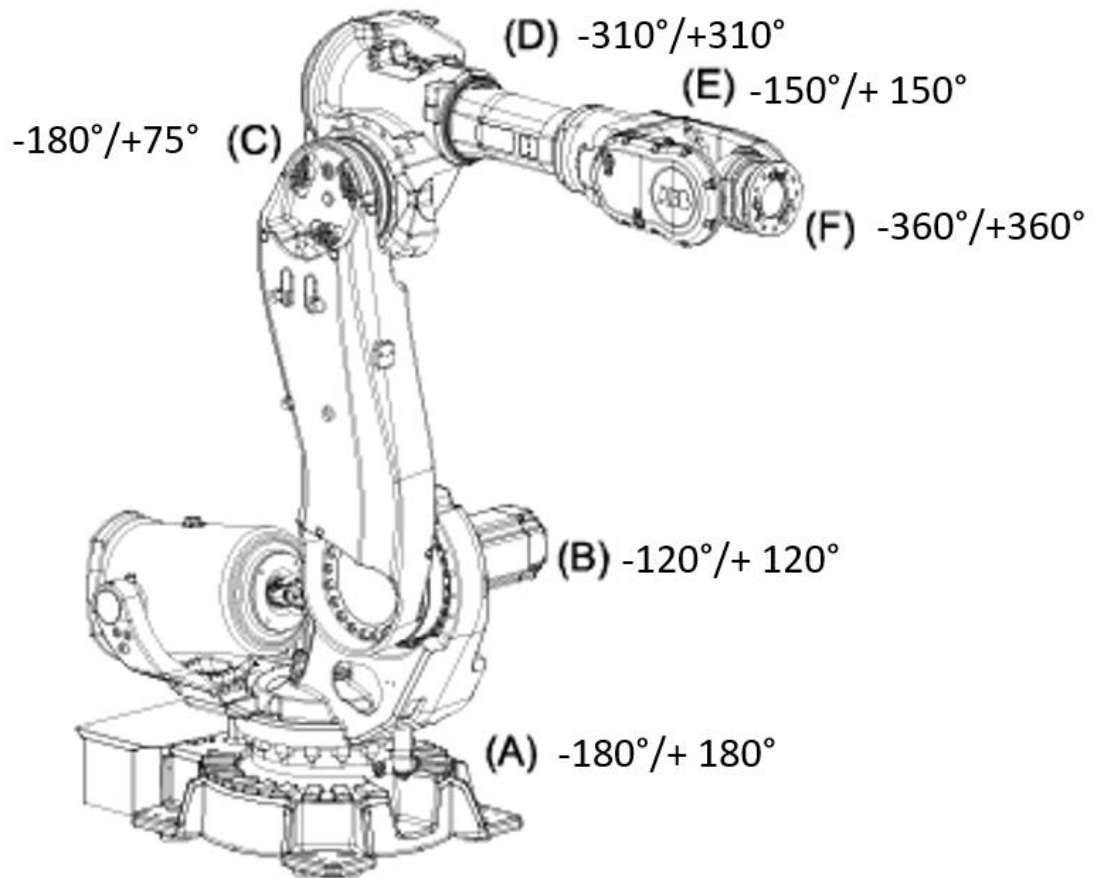
Fonte: Yaskawa ([s.d])

2.2 Robôs

Um robô é um dispositivo automatizado projetado para executar operações de soldagem de forma precisa e eficiente. Utilizando programação específica, o robô segue trajetórias predefinidas para realizar soldagens em pontos determinados, garantindo alta qualidade e consistência do processo.

É essencial considerar a quantidade de tarefas a serem executadas por um mesmo robô, o que tem influência direta no seu tempo de ciclo. A disposição fixa entre os robôs e veículos impõe limitações físicas à sua capacidade de alcançar as posições de soldagem necessárias. Além disso, as características construtivas dos robôs restringem sua mobilidade ao longo de certos eixos, resultando em algumas configurações relativas inalcançáveis na prática, conhecidas como Limite de Eixo dos Robôs (ABB, 2020).

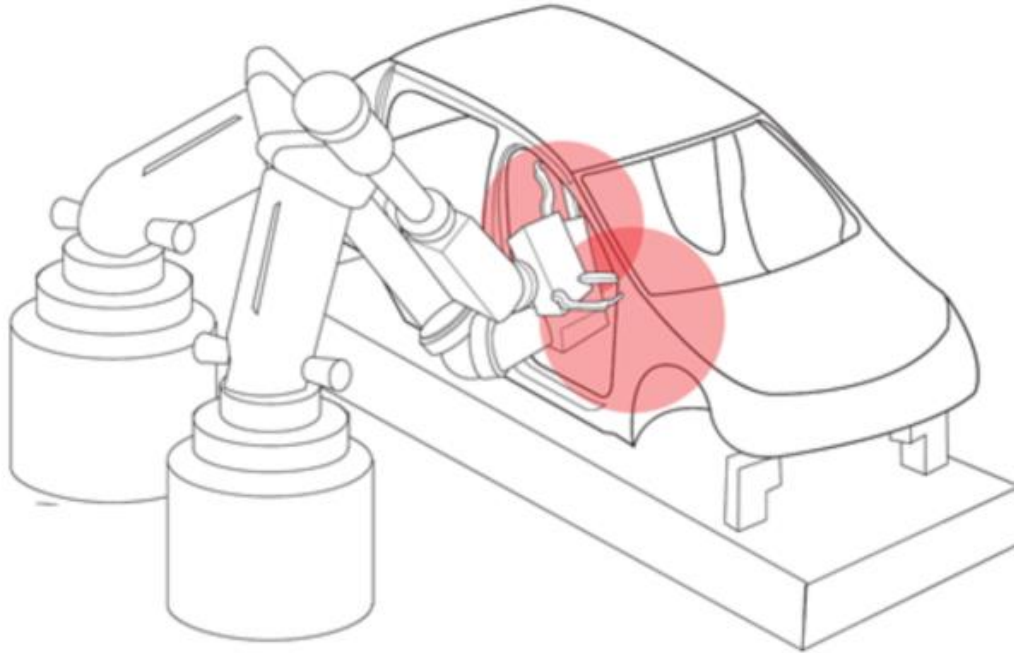
Figura 6 – Representação dos eixos de um robô.



Fonte: Abb (2020) adaptado.

Em ambientes de produção, é comum encontrar múltiplos robôs trabalhando de forma simultânea na mesma área do veículo. A presença de mais de um robô em uma área próxima demanda a implementação de medidas cautelares para evitar possíveis colisões e garantir a segurança operacional. Normalmente, impõe-se uma condição de espera – enquanto um robô trabalha naquela região, o outro aguarda para se aproximar (SCHIBELBAIN, 2021).

Figura 7 – Interferência entre robôs operando em áreas de soldagem próximas.



Fonte: LOPES (2017).

2.3 Simulação

Harrel *et al.* (2000) expõem que simulações envolvem a emulação de sistemas por meio de outros sistemas, permitindo a simplificação de cenários e variáveis complexas. Essa abordagem inclui a construção de modelos virtuais para validar produtos, uma alternativa menos dispendiosa e mais simples do que a fabricação de protótipos físicos.

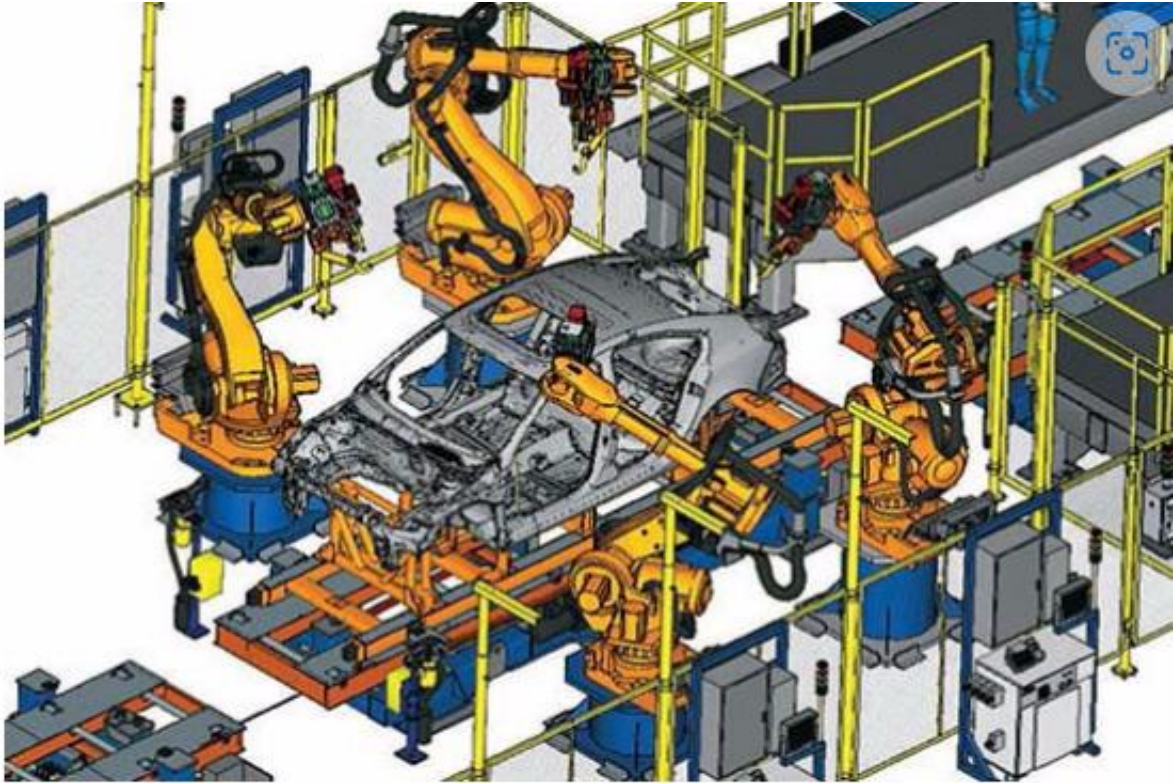
Conforme Schützer *et al.* (1999), enfatizam que a criação de protótipos físicos durante o processo de desenvolvimento de produtos é tanto dispendiosa quanto demorada. Assim, a exclusão dessa etapa resulta em economia de tempo e recursos financeiros.

De acordo com Schützer *et al.* (1999), nos setores automotivos, a adoção de sistemas e conceitos de desenvolvimento que favorecem a colaboração simultânea é amplamente difundida. O Digital Mockup (DMU) é um desses conceitos, integrando tecnologias e ferramentas para criar protótipos digitais, promovendo uma abordagem eficiente e colaborativa para o desenvolvimento e análise de produtos na fase virtual.

A determinação dos acessos para os robôs e das áreas onde podem executar pontos de solda pode ser confirmada por meio da utilização do software comercial Process Simulate (Siemens, 2024). Essa plataforma possibilita a

representação digital da linha de produção, dos robôs, dos equipamentos de solda e das peças a serem soldadas, permitindo a realização de estudos e validações virtuais com elevado nível de precisão.

Figura 8 – Ambiente virtual de simulação.



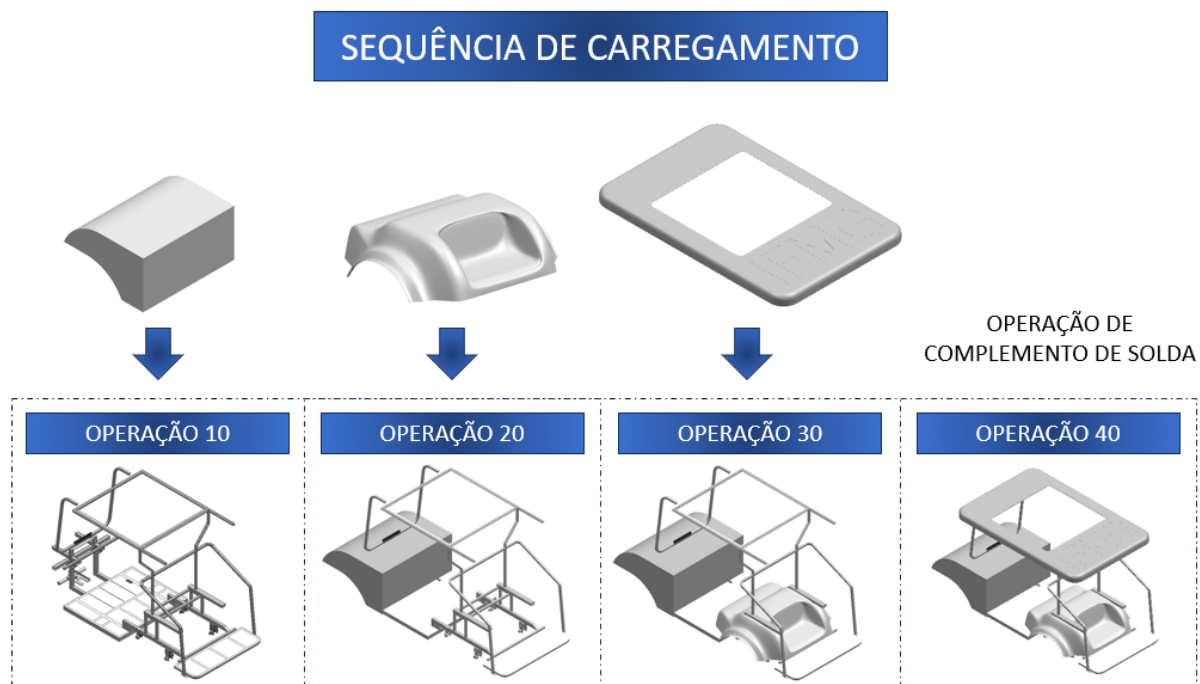
Fonte: Siemens ([s.d])

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia adotada para realizar a análise da viabilidade da implementação de um robô obsoleto para aplicação de solda a ponto. A metodologia é dividida em três etapas distintas: desenvolvimento do layout 2D, desenvolvimento do layout 3D e simulação.

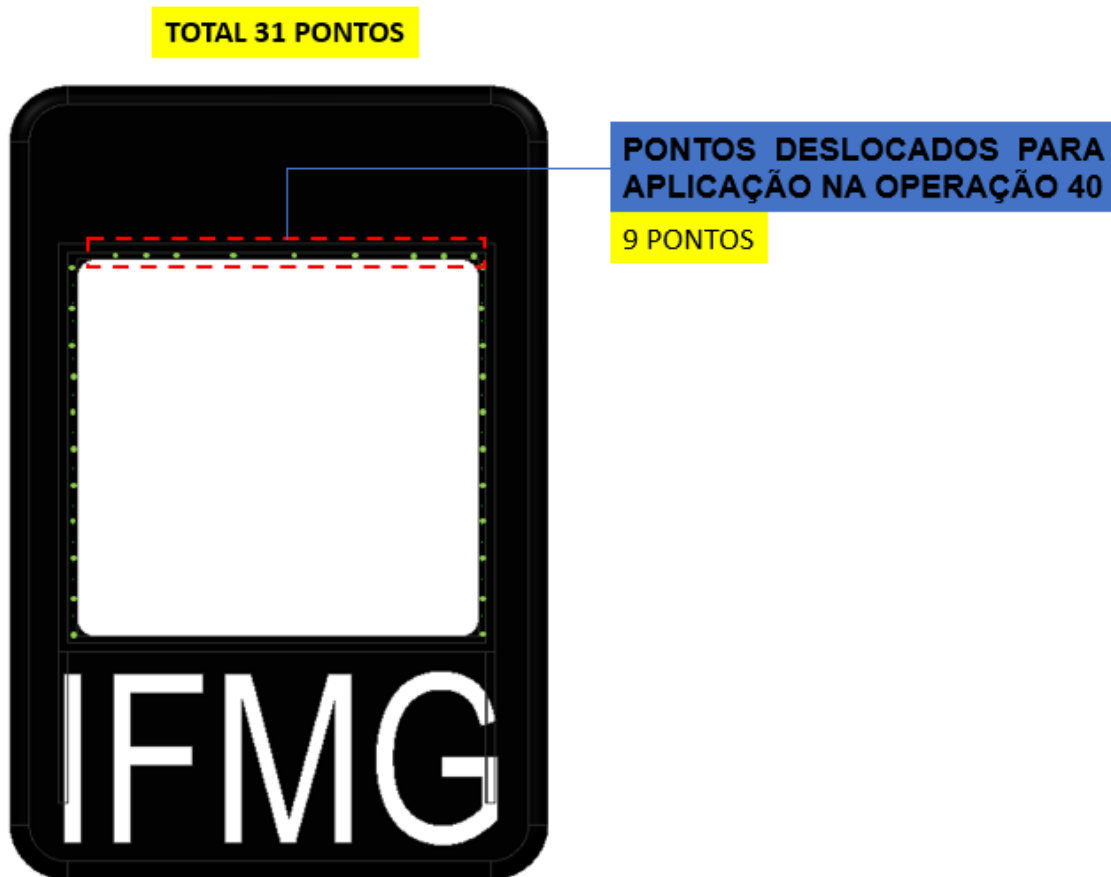
Conforme ilustrado na Figura 8, a linha de produção do veículo está segmentada em quatro operações distintas. O foco primordial deste estudo recai sobre a transição específica entre duas dessas operações: da operação 30 para a operação 40, caracterizada como uma etapa de complemento de solda. O objetivo central é relocar os pontos de solda da operação 30 para a operação subsequente, a operação 40, sem que isso resulte em um aumento no tempo ciclo dessa fase produtiva. Para atingir esse propósito, planeja-se a integração de um novo robô para executar esses nove pontos de solda adicionais, de forma a não interferir nas atividades dos dois robôs já presentes na operação 40. Essa abordagem visa otimizar a eficiência da linha de produção, assegurando a sincronização e o desempenho adequado de todas as operações envolvidas, sem comprometer a produtividade ou a qualidade do produto final.

Figura 9 – Sequência de carregamento.



A Figura 10 apresenta os pontos a serem transferidos para a próxima operação. Atualmente, a operação 30 é distribuída entre dois robôs, totalizando 31 pontos de transferência. Com a realocação de 9 desses pontos, espera-se uma redução significativa de 29% no tempo total da operação.

Figura 10 – Pontos que serão deslocados.

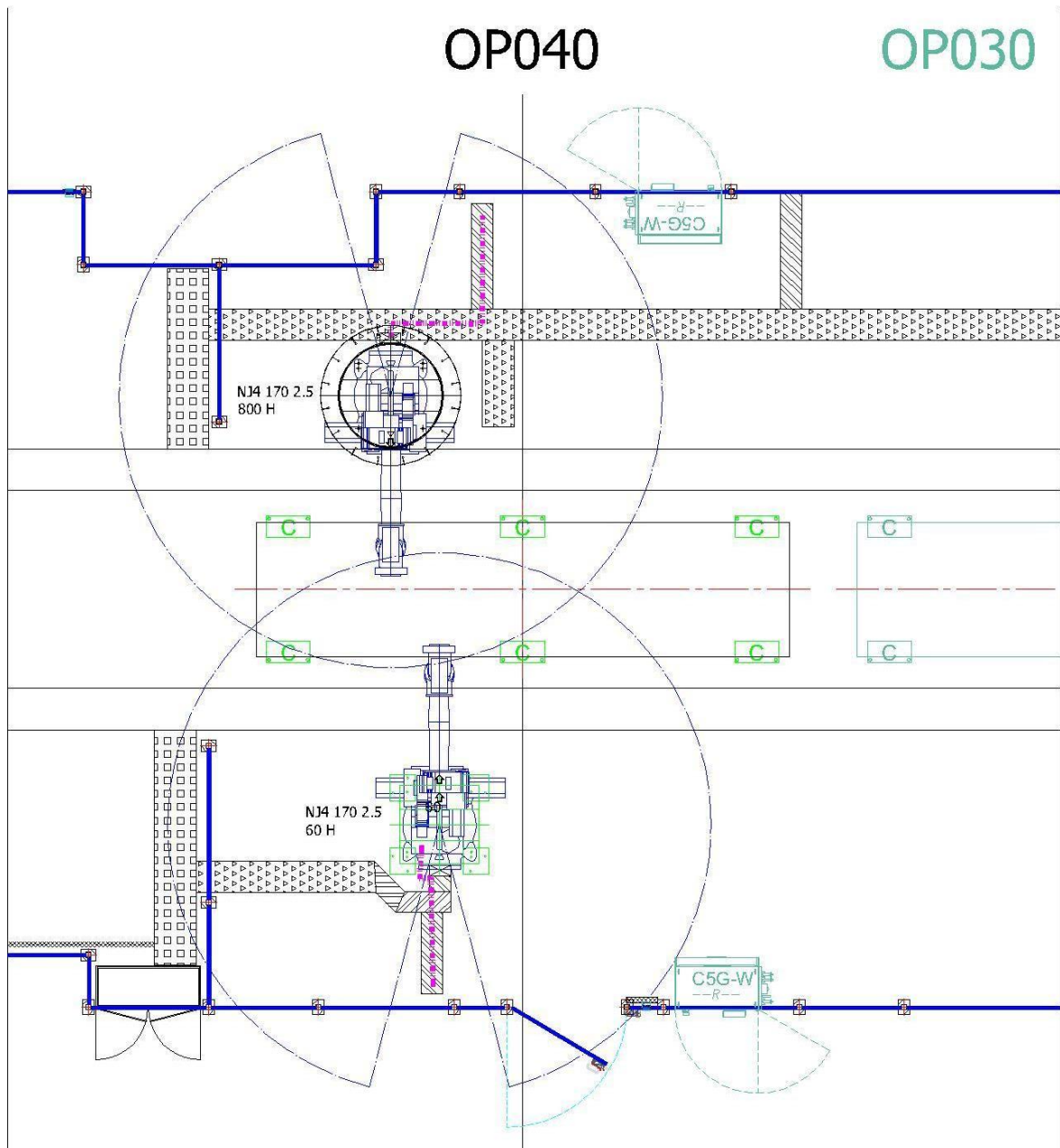


Fonte: elaborado pelo autor (2024).

3.1 Desenvolvimento do Layout 2D

Nesta etapa, será realizado o desenvolvimento do layout em duas dimensões (2D) da linha de produção existente. O objetivo é verificar se a linha comporta mais um robô e cabine para a aplicação de solda a ponto. Serão considerados fatores como espaço disponível, disposição dos equipamentos existentes e fluxo de produção. A análise do layout 2D permitirá avaliar preliminarmente a viabilidade de inserção do novo robô na linha de produção.

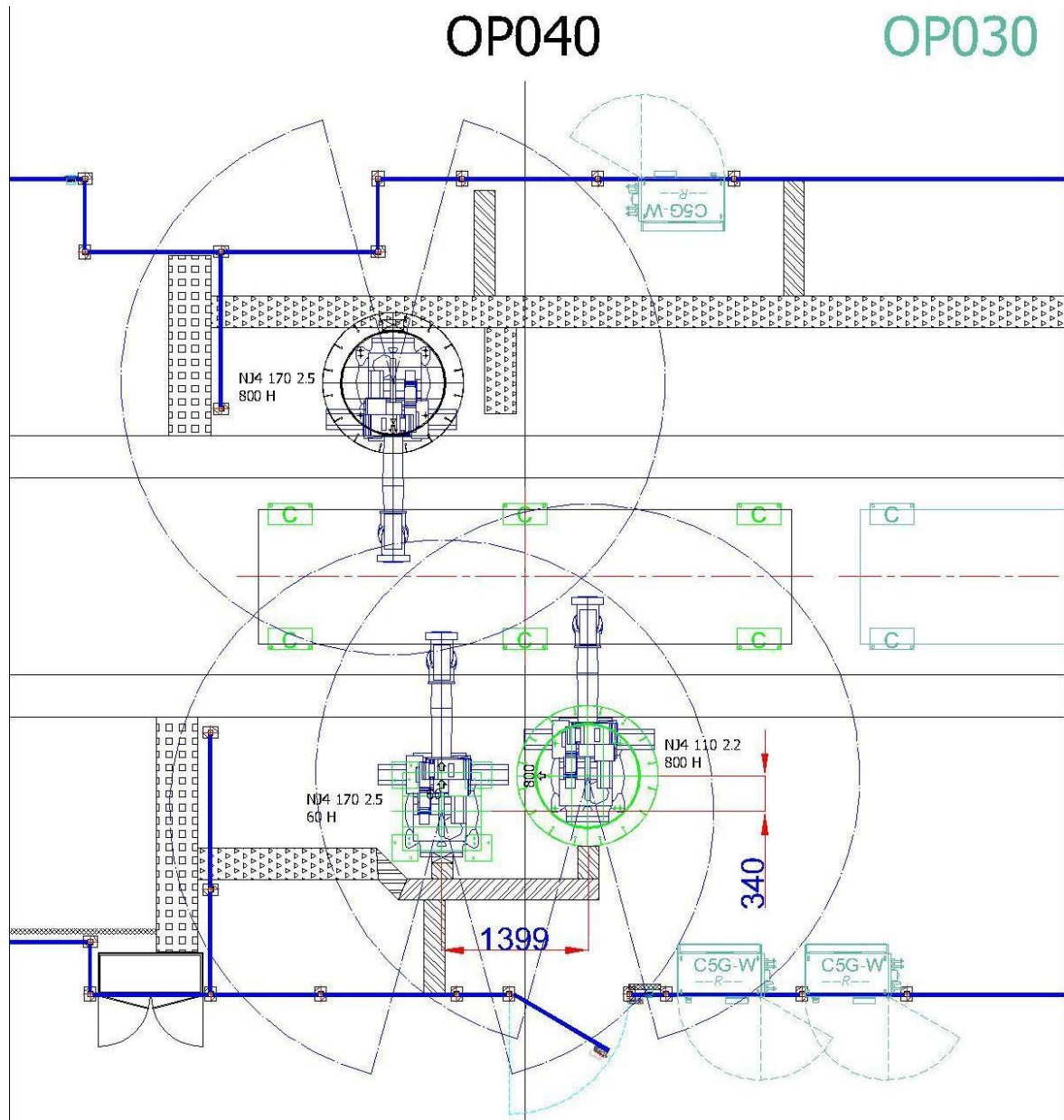
Figura 11 – Layout 2D atual da operação



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Após a análise do layout 2D da operação em questão, constatou-se que há uma quantidade significativa de espaço disponível para a adição de mais um robô e armário. Esta conclusão é particularmente relevante dado o contexto do trabalho, que é a adição de elementos na operação. Diferentemente de outras operações que requerem mesas de carregamento, esta operação apresenta uma configuração que favorece a expansão da capacidade de produção sem comprometer a eficiência ou a logística do processo.

Figura 12 – Layout 2D proposto para a operação.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

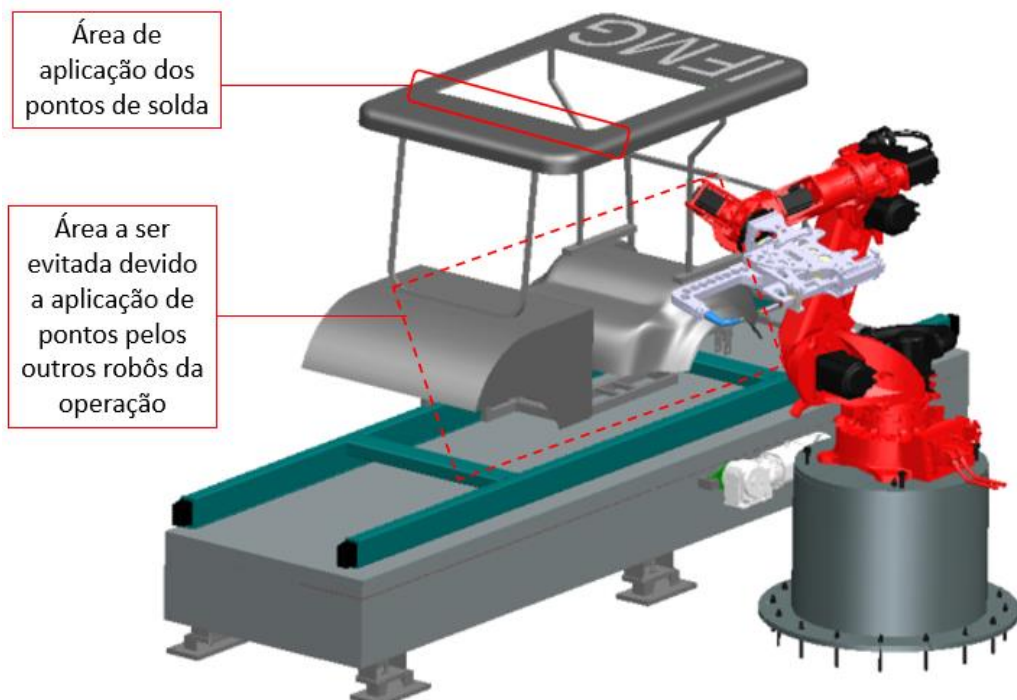
No processo de otimização do layout da operação, decidiu-se posicionar o armário do novo robô próximo a outro já existente, visando aproveitar a calha já presente no local. Inicialmente, foi considerada a possibilidade de estabelecer uma base para o novo robô com 800 mm de altura, a mesma altura da base do robô adjacente, que aplica pontos na lateral. Contudo, durante a etapa de simulação, será realizada uma validação dessa altura da base.

3.2 Desenvolvimento do Layout 3D

Nesta etapa, será realizado o modelamento 3D da operação, seguindo as diretrizes delineadas pelo layout 2D previamente desenvolvido. Esse processo de modelagem tridimensional permitirá uma visualização mais precisa e detalhada da disposição dos equipamentos, robôs, armários e demais elementos essenciais da operação. Com base nesse modelo 3D, será possível conduzir simulações virtuais que proporcionarão uma avaliação abrangente e dinâmica do funcionamento da operação.

Durante a fase de modelagem 3D do layout, surgiu uma importante constatação: a base de 800 mm, inicialmente considerada para o novo robô, revelou-se inviável para a operação em questão. Esta conclusão se fundamenta na análise das especificidades do robô disponível, que se destaca por ser de dimensões menores em comparação aos equipamentos já presentes na operação. Além disso, uma particularidade relevante foi identificada: a região de aplicação desse novo robô concentra-se no teto do carro, demandando adaptações específicas no posicionamento e na altura da sua base. Diante desse cenário, tornou-se evidente a necessidade de uma revisão cuidadosa do projeto.

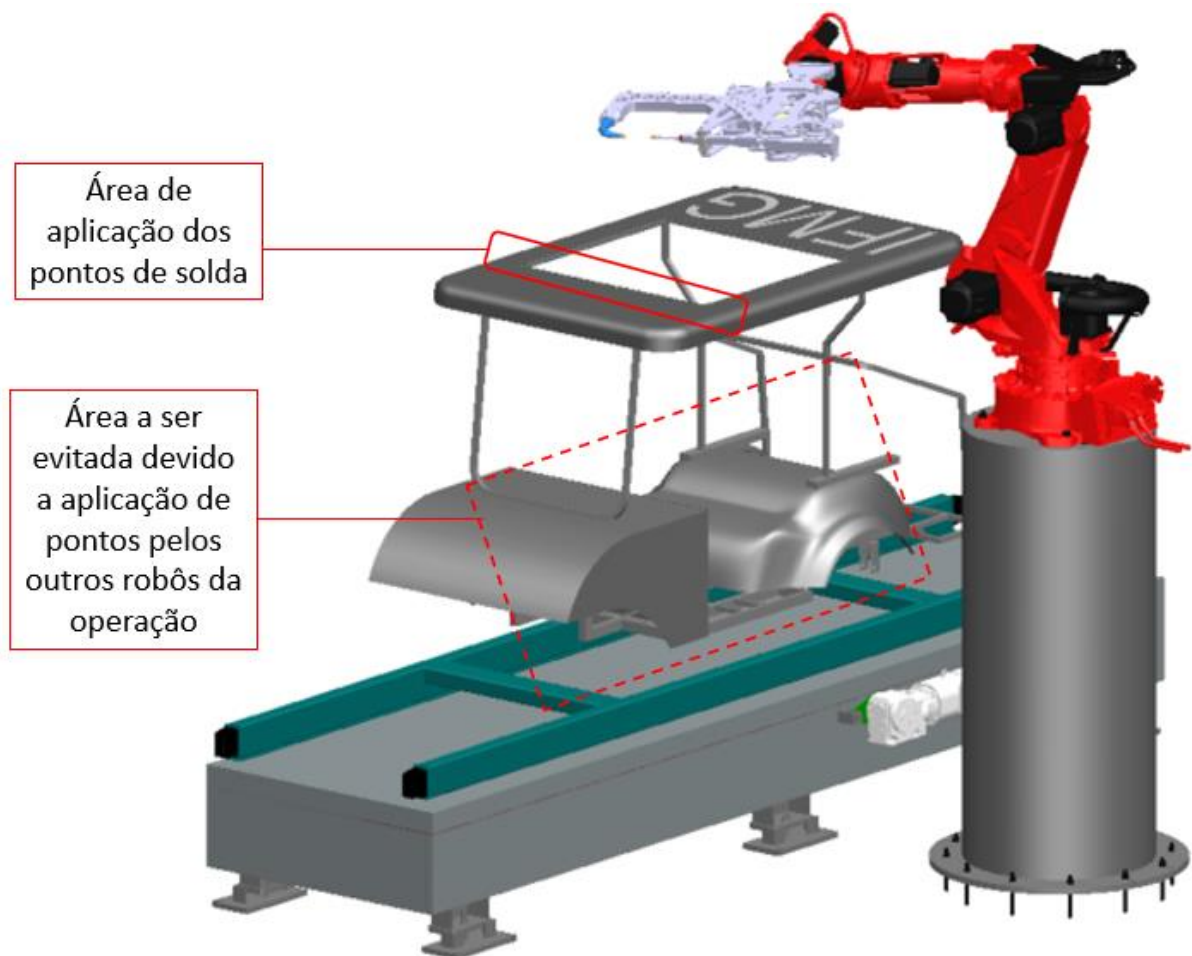
Figura 13 – Primeira modelagem 3D da proposta de layout.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Após cuidadosa análise e consideração das necessidades da operação, optou-se por adotar uma nova base de 2000 mm para o robô em questão. Esta decisão foi tomada levando em conta não apenas as especificidades da operação, mas também a disponibilidade de bases desse tamanho já existentes na linha de produção. Ao dimensionar uma base já utilizada com sucesso em outros pontos da linha, espera-se minimizar a necessidade de ajustes adicionais e maximizar o sucesso operacional da proposta.

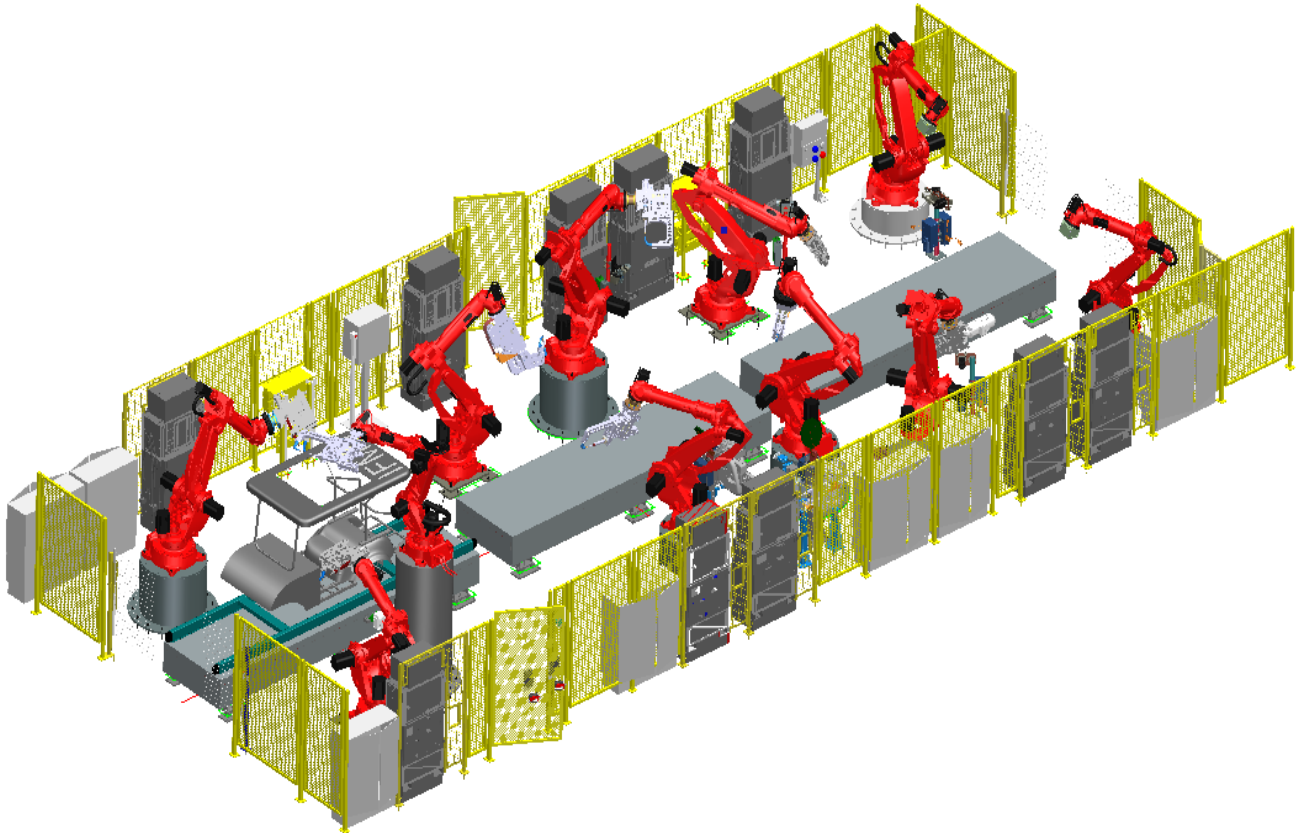
Figura 14 – Layout 3D com base de 2000 mm.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Com a conclusão da modelagem 3D abrangendo todos os aspectos da operação, estamos prontos para avançar para a próxima fase crucial: a simulação dinâmica do processo.

Figura 15 – Layout 3D proposto para a linha de produção.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

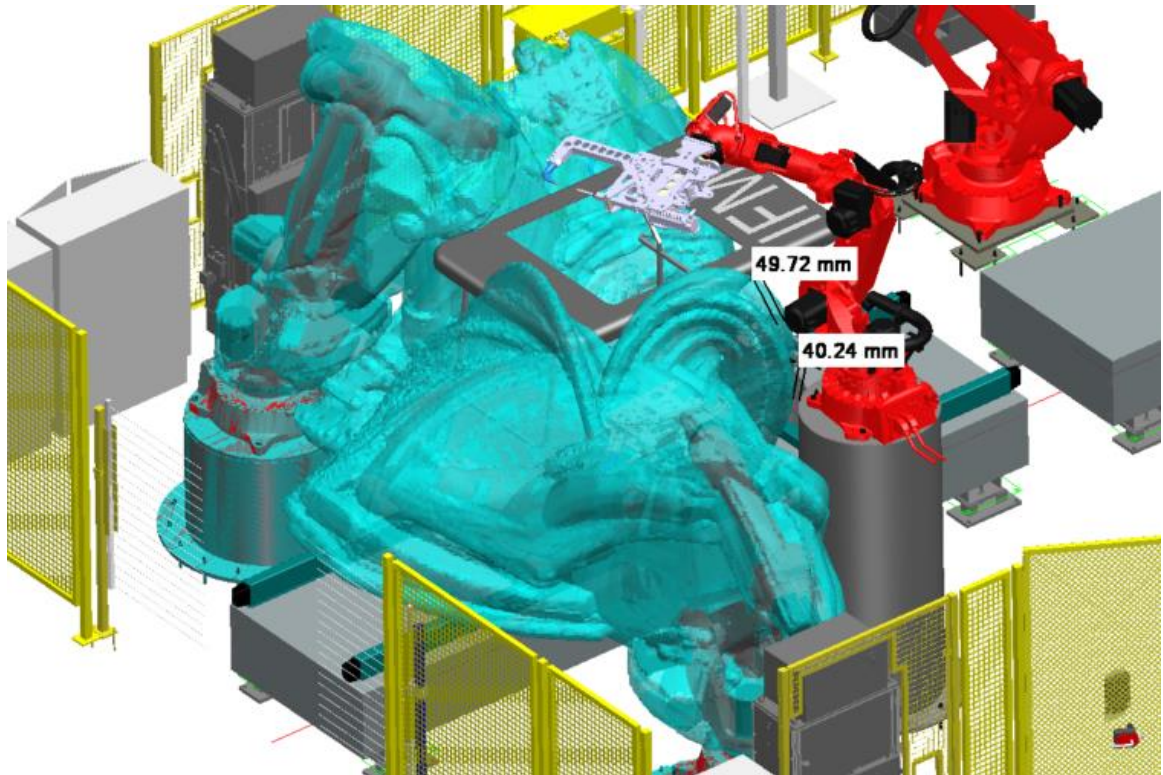
3.3 Simulação da operação

Nesta fase crucial do projeto, procederemos com a simulação dinâmica da operação, um passo fundamental para avaliar a interação entre o novo robô e sua base com os demais equipamentos já presentes na operação. Através dessa simulação, será possível identificar potenciais conflitos ou colisões entre os robôs existentes e o novo equipamento durante o ciclo operacional. Caso necessário, serão exploradas soluções de intertravamento entre os robôs, visando garantir a segurança e a integridade do processo produtivo. Além disso, será realizado um meticuloso estudo de validação do tempo de ciclo, assegurando que a introdução do novo robô não comprometa a eficiência ou a produtividade da operação, mas sim contribua para sua melhoria contínua. Essa etapa de simulação dinâmica desempenha um papel crucial na garantia da eficácia e sucesso da implementação do novo equipamento.

Ao realizar uma análise minuciosa da nuvem de movimentos dos dois robôs já em operação, constatou-se que a menor distância entre eles e o novo robô,

juntamente com sua base, é de 40,24 mm. Esta verificação confirma, em um primeiro momento, a viabilidade da posição proposta para o novo robô dentro do layout em relação aos equipamentos já existentes na operação. A observação dessa margem de segurança entre os robôs oferece uma validação inicial da disposição planejada, fornecendo uma base sólida para prosseguir com as etapas subsequentes do projeto.

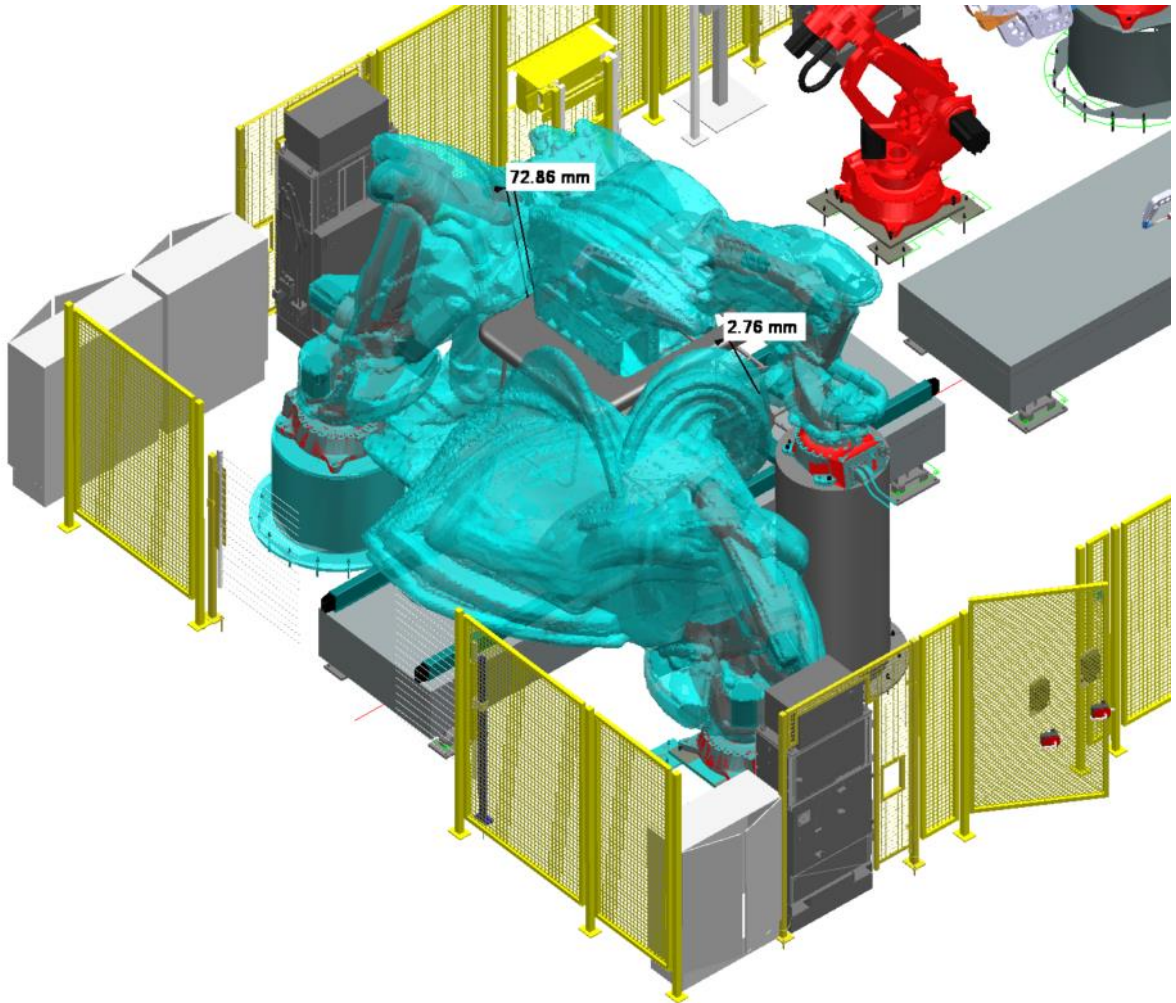
Figura 16 – Mínima distância entre robôs atuais e o novo robô e base.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Após a conclusão da programação do novo robô para os pontos de solda deslocados na operação, foi constatado que não seria necessário implementar nenhum *interlock* de segurança, visto que a análise das nuvens de movimento não revelou interferências entre os robôs. A menor distância identificada entre os robôs, de apenas 2,76 mm, não representa uma preocupação significativa, uma vez que os robôs ocupam essa região em momentos distintos durante o ciclo operacional. Essa observação reforça a viabilidade da configuração proposta e oferece uma confirmação adicional da eficácia das decisões tomadas durante o planejamento e implementação do novo sistema na linha de produção.

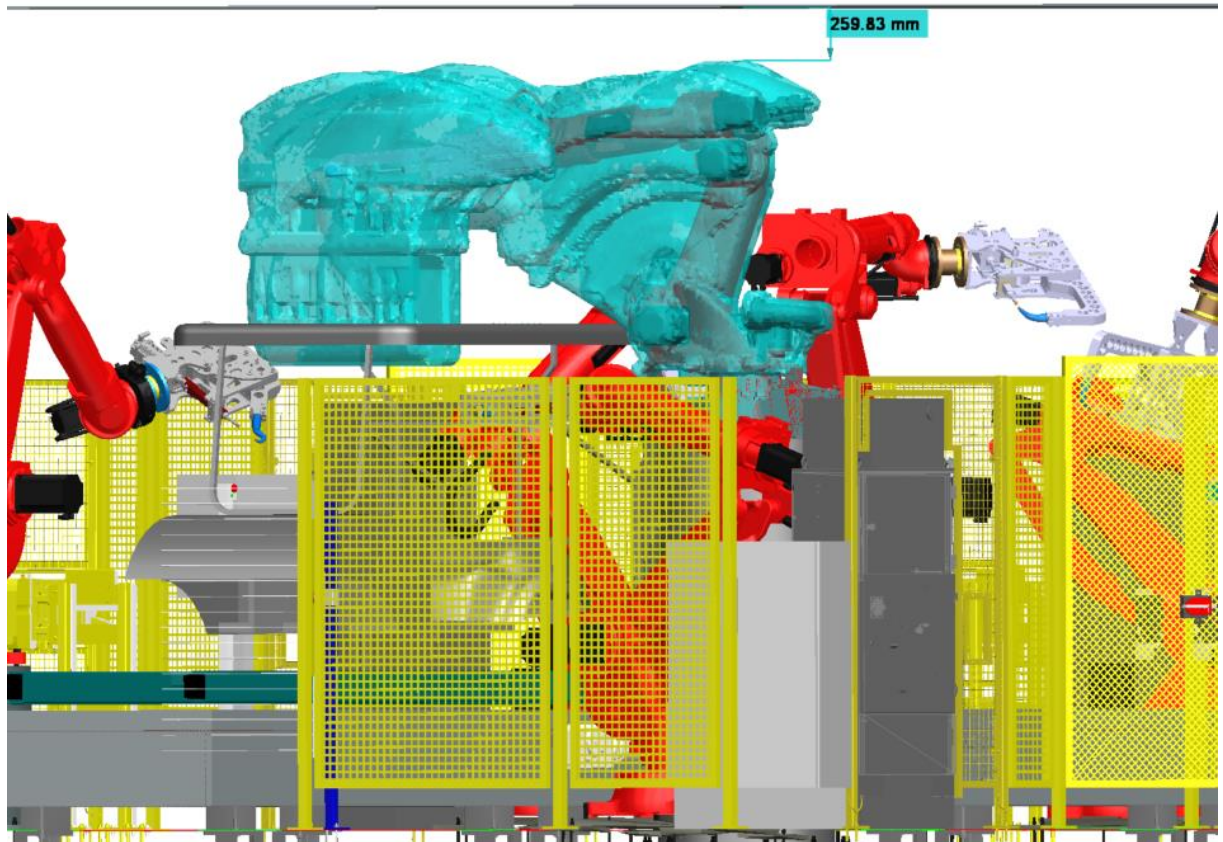
Figura 17 – Mínima distância entre os robôs na simulação da operação.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Além da análise das nuvens de movimento entre os robôs, também foi examinada a menor distância do robô até o teto do galpão durante a simulação, constatando-se uma distância mínima de 259,83 mm. Essa verificação adiciona mais um parâmetro relevante à avaliação da viabilidade da introdução do novo robô na operação, especialmente considerando que foi adicionada uma base de 2000 mm. A confirmação dessa distância de segurança entre o robô e o teto reforça a robustez do planejamento e implementação do novo sistema, evidenciando a adequação da configuração proposta para a operação.

Figura 18 – Mínima distância entre o robô proposto e o teto na simulação.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

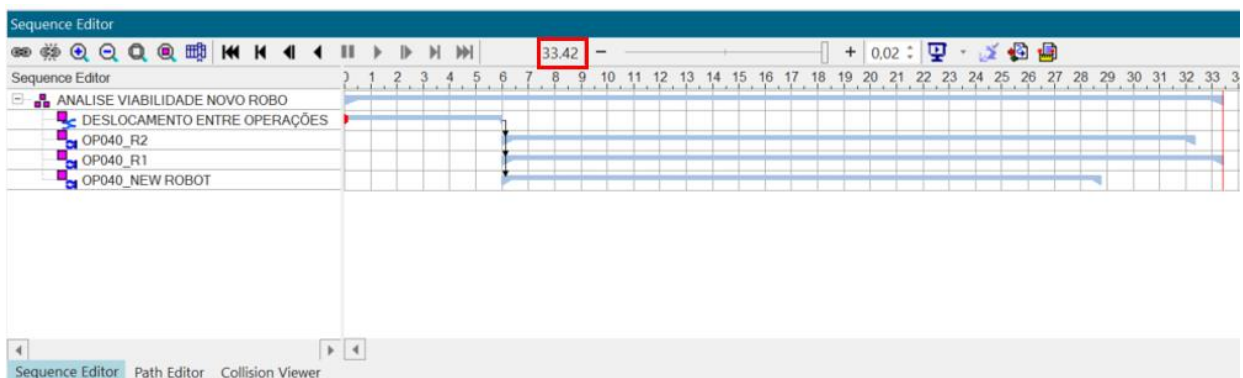
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, iremos discutir os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto após as etapas de desenvolvimento do layout 2D, modelagem do layout 3D e simulação. No desenvolvimento do layout 2D, foi identificado espaço disponível para adicionar uma nova base, robô e armário na linha de produção. Inicialmente, considerou-se uma base de 800 mm, em conformidade com os robôs existentes na operação. No entanto, a modelagem 3D revelou a necessidade de uma base maior de 2000 mm, devido às dimensões menores do novo robô e à sua aplicação de pontos no teto do carro.

Durante a simulação, verificou-se que não ocorre colisão do novo robô com os demais, e a distância mínima entre as nuvens de movimentações dos robôs existentes e o novo robô era de 2,76 mm, demonstrando que não seria necessário implementar *interlocks* na operação, visto que essa distância acontece na prática, pois eles estão nessas regiões em momentos distintos. Além disso, a distância entre o robô proposto e o teto do galpão, medida em 259,83 mm, foi validada, fortalecendo ainda mais a viabilidade da introdução do novo equipamento.

Um dos resultados mais significativos e o objetivo deste trabalho foi a constatação de que a adição do novo robô não prejudicaria a operação atual e aliviaria uma operação anterior, mantendo o tempo de ciclo da operação da operação 40 em 33,42 segundos, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Tempo da operação com o novo robô.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Tabela 1 - Comparativo de tempos operacionais antes e após a implementação do novo robô.

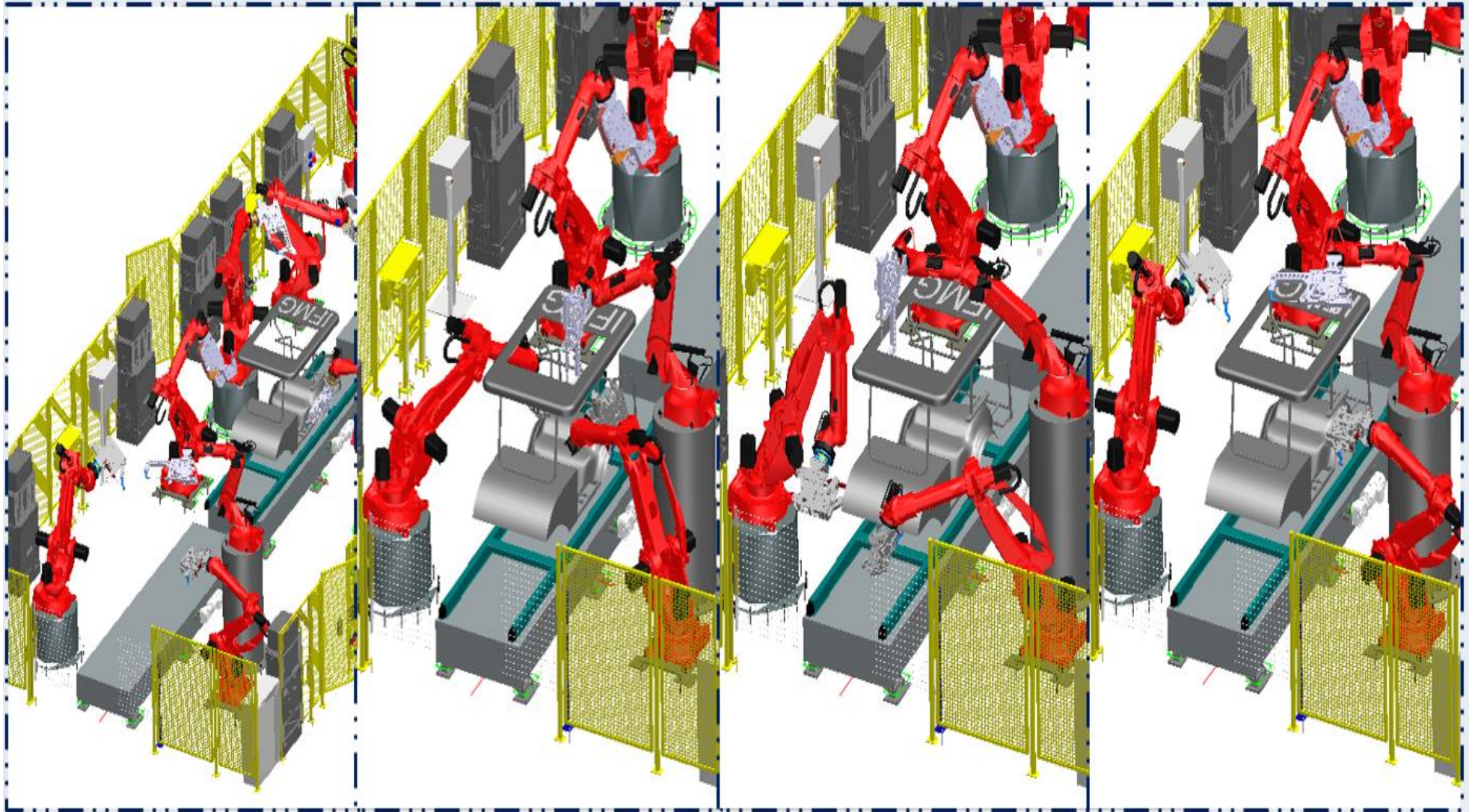
Operação	Tempo atual (s)	Tempo após a introdução do novo robô
10	29,12	29,12
20	32,18	32,18
30	35,57	31,15
40	33,42	33,42

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, a introdução do novo robô resultou em um ganho de 4,42 segundos na operação 30, representando um aumento de eficiência de aproximadamente 12,43% nessa etapa. Em termos de produtividade, essa melhoria permite a produção estimada de 4 veículos adicionais por hora, reforçando os benefícios da implementação do equipamento. As demais operações mantiveram seus tempos inalterados, demonstrando que o impacto do robô foi pontual e eficiente na etapa 30.

Esses resultados demonstram claramente a viabilidade e eficácia da proposta de adicionar o robô obsoleto na linha de produção da montadora de automóveis. A abordagem integrada, que inclui o desenvolvimento do layout, modelagem 3D e simulação, permitiu uma análise abrangente e detalhada do projeto, resultando em uma solução otimizada que atende às necessidades da operação e contribui para a melhoria contínua do processo produtivo.

Figura 20 – Representação da simulação para validar o processo em 4 frames.



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Conforme a figura 20, a simulação realizada com o software Process Simulate demonstra o funcionamento integrado do novo robô na linha de produção de solda. O vídeo inicia com o translado do veículo no skid, movendo-o da operação 30 para a operação 40. A simulação então foca na execução da operação de solda na posição 40, onde o novo robô realiza os pontos de solda conforme planejado.

Durante o processo, a precisão do posicionamento do robô é confirmada, atendendo às distâncias de segurança mínimas em relação aos robôs já existentes. Essa verificação reafirma a viabilidade da operação sem a necessidade de interlocks adicionais. A distância de 259,83 mm entre o robô e o teto do galpão, conforme projetada na modelagem 3D, também foi validada na simulação, demonstrando a compatibilidade do equipamento com o espaço disponível.

Por fim, a simulação demonstra que a adição do novo robô não afeta negativamente o tempo de ciclo da operação, mantendo-o em 33,42 segundos, o que reforça a compatibilidade e eficiência do robô na linha de produção. Esses aspectos confirmam os resultados apresentados na Tabela 1 abaixo, que resume os principais resultados e os meios de análise utilizados.

Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos e meios de análise utilizados.

Resultado	Meio Utilizado	Software
Identificação de espaço disponível para adicionar nova base, robô e armário	Layout 2D	AutoCAD
Necessidade de uma base de 2000 mm devido às dimensões do novo robô	Modelagem 3D	Siemens Unigraphics NX
Verificação das mínimas distâncias de 2,54 mm entre os robôs existentes e o novo robô	Simulação	Siemens Process Simulate
Verificação da distância mínima de 2,83 mm entre o novo robô e o teto do galpão	Simulação	Siemens Process Simulate
Constatação de que o novo robô não prejudicaria a operação atual e aliviaria uma operação anterior	Simulação	Siemens Process Simulate
Manutenção do tempo de ciclo em 33,42 segundos com a introdução do novo robô	Simulação	Siemens Process Simulate
Conclusão da viabilidade e eficácia da adição do robô obsoleto na linha de produção	Análise integrada (2D, 3D, Simulação)	AutoCAD, Unigraphics NX, Siemens Process Simulate

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a viabilidade técnica da proposta de adicionar um robô obsoleto em uma linha de montagem automotiva para realizar a soldagem a ponto no teto do carro. A partir de um estudo de caso, foram realizadas análises detalhadas de layout, modelagem 3D e simulação, com o objetivo de avaliar a integração do novo robô à operação existente, sem comprometer a produtividade ou a segurança.

Os resultados obtidos demonstram que a proposta é viável tecnicamente. O layout 2D confirmou a disponibilidade de espaço para a instalação do novo robô, enquanto a modelagem 3D permitiu a otimização da base e a simulação comprovou a segurança da operação, com as distâncias mínimas entre os robôs e a interface da operação.

Após uma análise abrangente, as principais conclusões destacam a viabilidade do layout da linha de produção para a introdução do novo robô. Verificou-se que a operação dispõe de espaço adequado para acomodar o novo equipamento, a base e o armário, sem comprometer o fluxo da operação. Além disso, é necessária uma base do robô de 2000 mm, considerando suas especificidades e a aplicação dos pontos de solda no teto do carro. Quanto à segurança da operação, constatou-se que as distâncias mínimas entre os robôs existentes e o novo equipamento estão dentro dos limites aceitáveis, não exigindo a implementação de interlocks. Importante ressaltar que a adição do robô não afeta o tempo de ciclo da operação, mantendo-o em 33,42 segundos, o que otimiza a produtividade e alivia a carga de trabalho de uma operação anterior.

A análise dos resultados evidenciou um ganho significativo de eficiência na operação 30, com uma redução de 12,43% no tempo necessário para sua execução. Essa melhoria se traduz em um aumento estimado de 4 veículos adicionais por hora na capacidade produtiva da linha, reforçando os benefícios tangíveis da introdução do robô. Essa contribuição não apenas otimiza o fluxo operacional, mas também aumenta a competitividade da montadora, permitindo atender a uma maior demanda sem a necessidade de investimentos substanciais em novas tecnologias ou alterações complexas no processo de fabricação.

A viabilização da proposta apresenta implicações e contribuições significativas para a montadora. Primeiramente, destaca-se o aumento da

produtividade da linha, uma vez que a adição do robô obsoleto otimiza o processo de soldagem, liberando recursos para outras operações e reduzindo os tempos de produção. Além disso, a reutilização de um robô obsoleto representa uma redução de custos considerável em comparação com a aquisição de um novo equipamento, contribuindo para a eficiência econômica da empresa. Por fim, a sustentabilidade é promovida através da reutilização do robô obsoleto, reduzindo o descarte de equipamentos e alinhando-se aos princípios da economia circular. Essas implicações e contribuições reforçam a importância e os benefícios da proposta apresentada para a montadora de automóveis e para o setor industrial como um todo.

REFERÊNCIAS

- ABB, **Product Specification IRB 6640**. 2020. Disponível em:
<<https://library.e.abb.com/public/1c8cd7d860ec46f7b4254c03dd238dd8/3HAC028284%20PS%20IRB%206640-en.pdf>> Acesso em: 27 mar. 2024.
- AVILA, Thales Lucas Diniz de; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Influência dos parâmetros de soldagem no ensaio de torção de solda a ponto em um dispositivo automatizado recém desenvolvido**. Soldagem & Inspeção, v. 22, p. 228-237, 2017.
- AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **Welding Handbook** Vol. 3: Welding Processes, Part 2. 9th ed. Miami, Florida: AWS, 2007.
- BATISTA, Márcio. **Desenvolvimento de um processo de soldagem a ponto por resistência elétrica utilizando manufatura aditiva**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2020.
- BRANCO, Hideraldo. **Avaliação de capas de eletrodos utilizadas na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas**. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Paraná, 2004.
- CORRÊA, Alexandre. **Soldagem por resistência**. Documento didático, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em:
<https://docente.ifsc.edu.br/anderson.correia/MaterialDidatico/Eletromecanica/Modulo_2/Processos_de_Soldagem/Soldagem%20por%20Resist%C3%Aancia.pdf>
Acesso em: 03 dez. 2024.
- HARRELL, Charles; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulação usando promodel**. Nova York: McGraw-Hill, 2000.
- LOPES, T. C. et al. Balancing a Robotic Spot-Welding Manufacturing Line: An Industrial Case Study. **European Journal of Operational Research**, Vol. 203, p. 216- 224, 2017.

Siemens Digital Industries Software, **Process Simulate**. Disponível em:
<<https://aimflex.com.my/process-simulate.html>> Acesso em: 28 mar. 2024.

RUIZ, Douglas Criado. **Contribuição ao desenvolvimento de processos de montagem e soldagem de carrocerias automotivas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RESISTANCE WELDER MANUFACTURER'S ASSOCIATION (RWMA). **Resistance Welding Manual: Revised Fourth Edition**. Florida, USA: 2003.

SALES, R. **O que é automação industrial? Qual o seu impacto nas indústrias?** Disponível em: <<https://blog.acoplastbrasil.com.br/automacao-industrial/>> Acesso em: 19 mar. 2024.

SCHIBELBAIN, Daniel. **Método para redução de tempo computacional e melhoria de flexibilidade de demanda no balanceamento de linhas de soldagem robotizadas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SCHÜTZER, Klaus; DE SOUZA, Nara Lúcia. **Implantação do "3Digital Mockup" na Indústria Automobilística: conquistando vantagens competitivas**. 1999.

Spot Welding Guns. YASKAWA. Disponível em:
<https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/hardware%20accessories/seriesdetail/serie/spot-welding-guns_11274>. Acesso em: 10 abr. 2024.

APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DO PROGRAMA DO NOVO ROBÔ

```
// File: ESTUDO OP040_NEW ROBOT
// PROP_REVISION:20241030@08:06$
// Generated with: Process Simulate Disconnected 2402
// PROP_VERSION:rcs_cm_c5g_2.42.007$
// Study: SCE_PLC2
// Robot: R06
// $PROP_DATE:30-10-2024 08:06:26$
// Author: F93590A ()
// Date: 30/10/2024 - 09:10:50
//--$PROP_UVL:1$
//--$PROP_UML:1$

PROGRAM ESTUDO OP040_NEW ROBOT PROG_ARM = 1, STACK = 2048

VAR
    xtn0001X,xtn0002X ,xtn0003X ,xtn0004X : XTNDPOS
    wp111_NEW , wp112_NEW ,xtn0005X ,xtn0006X : XTNDPOS
    xtn0007X , wp113_NEW,xtn0008X ,xtn0009X : XTNDPOS
    xtn0010X ,xtn0011X ,xtn0012X ,xtn0013X : XTNDPOS
    wp115_NEW ,xtn0014X ,xtn0015X ,xtn0016X : XTNDPOS
    wp117_NEW, wp119_NEW , wp121_NEW, wp112_NEW : xtn0017X
    ,xtn0018X ,wp_265_20149 : XTNDPOS
    xtn0019X ,xtn0020X ,wp_265_20159 ,wp_265_20157 : XTNDPOS:
XTNDPOS ,xtn0021X ,xtn0022X ,xtn0023X : XTNDPOS

ROUTINE ToolFrame(ai_tool, ai_frame, ai_arm : INTEGER())
EXPORTED FROM TT_TOOL GLOBAL
ROUTINE RmtToolFrame(ai_tool, ai_frame, ai_arm : INTEGER())
EXPORTED FROM TT_TOOL GLOBAL
ROUTINE Base(ai_b_num : INTEGER; ai_arm : INTEGER()) EXPORTED
FROM TB_BASE GLOBAL

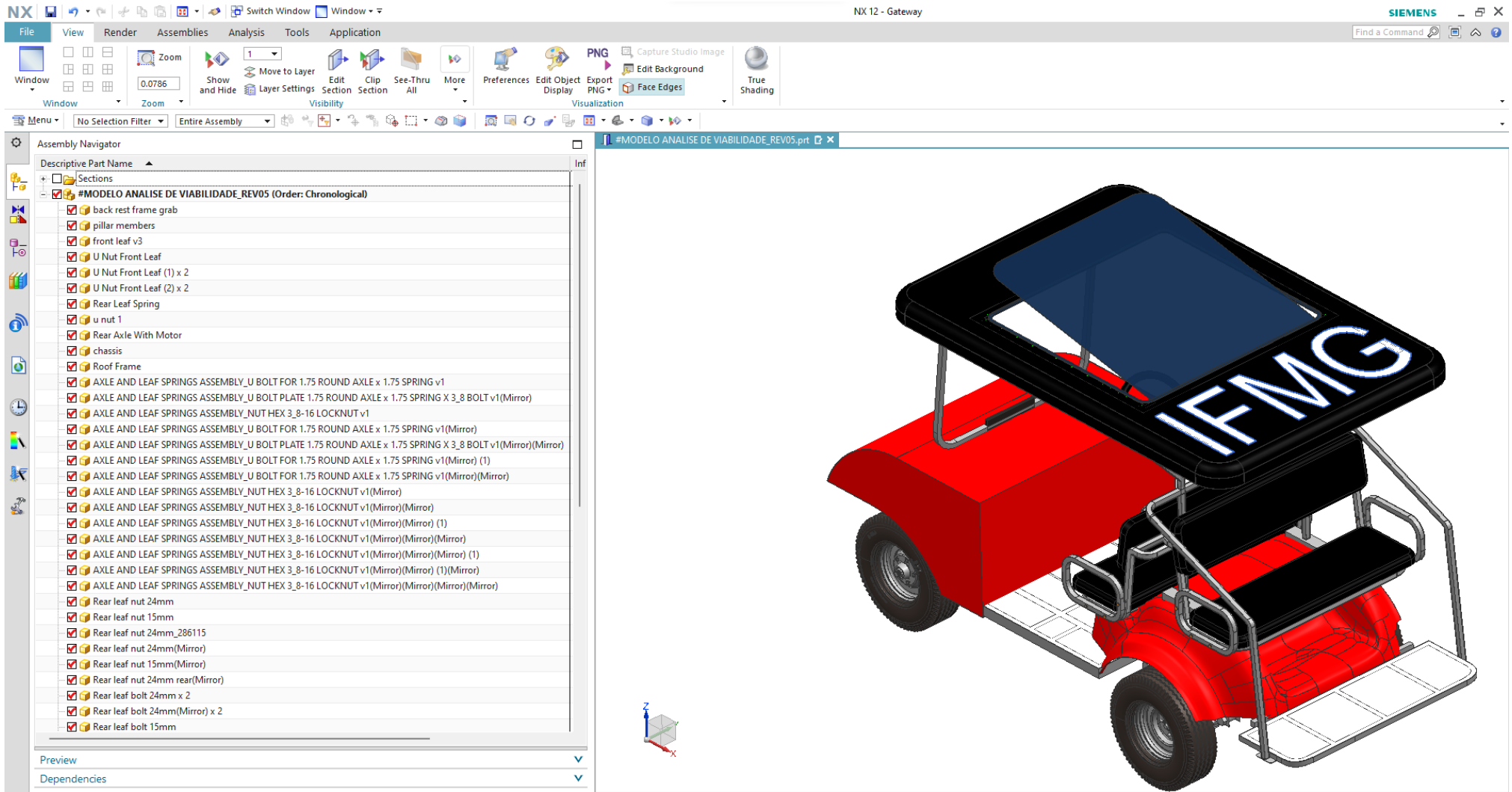
--# C5G - Spot instructions
ROUTINE spot(ai_spot_idx_pack1 : INTEGER; ai_spot_idx_pack2:
INTEGER; ab_before : BOOLEAN) : INTEGER EXPORTED FROM h_spot
GLOBAL
ROUTINE spot_init(ai_gun_pack1, ai_gun_pack2 : INTEGER) :
INTEGER EXPORTED FROM h_spot GLOBAL
ROUTINE setevp(ai_wpack, ai_wprog : INTEGER) : INTEGER
EXPORTED FROM h_spot GLOBAL
ROUTINE before_hand (ai_time : INTEGER) EXPORTED FROM h_spot
GLOBAL
ROUTINE re_open (ar_reopen_quote : REAL) : INTEGER EXPORTED
```



```
VIA PTP via66 V=100% fine  
END_OPERATION
```

```
END_PROG
```

APÊNDICE B – VISUALIZAÇÃO DA MONTAGEM DO CARRO NO UNIGRAPHICS NX



Select objects and use MB3, or double-click an object

APÊNDICE C – VISUALIZAÇÃO DO MODELAMENTO DO TETO PANORÂMICO CARRO NO UNIGRAPHICS NX

