



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

VICTÓRIA FERNANDA ALVES MILANEZ

**MODELO DE SIMULAÇÃO PARA CONFIGURAÇÃO DE UMA LINHA DE
PRODUÇÃO DE ACUMULADORES DE ENERGIA**

Caruaru
2021

VICTÓRIA FERNANDA ALVES MILANEZ

**MODELO DE SIMULAÇÃO PARA CONFIGURAÇÃO DE UMA LINHA DE
PRODUÇÃO DE ACUMULADORES DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof^o. Isaac Pergher.

Caruaru

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

M637m Milanez, Victória Fernanda Alves
Modelo de simulação para configuração de uma linha de produção de acumuladores de energia. / Victória Fernanda Alves Milanez. – 2021.
42 f. ; il. : 30 cm.

Orientador: Isaac Pergher.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de produção, 2021.
Inclui Referências.

1. Simulação. 2. Instalação. 3. Administração da produção. 4. Layout. I. Pergher, Isaac (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2021-129)

VICTÓRIA FERNANDA ALVES MILANEZ

**MODELO DE SIMULAÇÃO PARA CONFIGURAÇÃO DE UMA LINHA DE
PRODUÇÃO DE ACUMULADORES DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 27/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Isaac Pergher (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Lucimario Gois (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Walton Coutinho (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A trajetória até esse ponto é muito longa, e uma infinidade de acontecimentos e pessoas me ajudaram a moldar quem eu sou hoje e tem parte em tudo aquilo que alcancei. Agradeço a todos esses momentos em especial aqueles me conferiram humildade e ensinamentos. A minha alma mater (UFPE), agradeço todos os ensinamentos técnicos que me fazem ser um profissional diferenciado no mercado, porém muito além disso, me ensinou o conceito de antifrágil, a enfrentar as situações e nunca desistir. Ao meu orientador agradeço por toda presteza, paciência e dedicação.

Agradeço a minha avó Edilse e meu avô Antônio que no primeiro ano de faculdade me cederam um quarto na casa deles e me receberam como filha. Agradeço a minha tia Jacinete, sempre proativa em me ajudar e não medir esforços para fazer a minha caminhada ser mais leve. Agradeço ao meu irmão, Gleybson, que para melhorar minha qualidade de estudos comprou um notebook para mim. Em especial, agradeço a todos os meus familiares que direta e indiretamente me ajudaram chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, que sem eles eu não teria chegado aonde cheguei. Eles sempre me possibilitaram escolher estudar e poder ir atrás dos meus sonhos. Minha mãe Jaidete, que sempre me ensinou a confiar em Deus e ter fé nos planos Dele e meu pai Bento que me incentivou desde pequena a querer ser tão inteligente quanto ele e ir para área de exatas. Ele sempre disse que eu ia conseguir vencer até mesmo aqueles desafios que eu não acreditava em mim, ele nunca me permitiu ir embora sem lutar. Não é fácil abdicar das coisas para si, porém eles faziam com tanto amor, que nunca pareceu ser um fardo dar o melhor deles para mim.

Agradeço a meus irmãos, Katarina e Genésio. Em especial a minha irmã, que sempre me ajudou em tudo que podia, e sempre foi/é meu ombro amigo. Agradeço ao meu namorado, Lucas, que tem sido meu fã número um nessa reta final, a os meus amigos que sempre me incentivaram, aos meus colegas de faculdade, aos meus amigos da faculdade que levo para vida, aos meus professores, em especial professor Gilson Lima que me acompanha desde o primeiro período. E por último, mas não menos importante, agradeço a Deus pelo dom da vida e por sua infinita graça, mesmo não sendo merecedora.

RESUMO

Em diversas situações, a tomada de decisão consiste na escolha entre alternativas. Dentro do ambiente competitivo que a evolução da tecnologia trouxe, as empresas precisam tomar decisões com o menor risco possível. O uso de simulação computacional tem se mostrado uma ferramenta a ser considerada para auxiliar nesse processo, principalmente na manufatura. Dessa forma, o presente trabalho aborda um estudo de caso que utiliza a simulação para definir um plano de instalação de maquinários de uma linha de produção em uma empresa de acumuladores energéticos. A implementação do referido estudo de simulação surgiu por decisão gerencial, objetivado na perspectiva da criação de uma linha que interliga três processos diferentes, anteriormente separados em duas linhas distintas. O plano de instalação havia sido feito levando em conta a capacidade dos maquinários, porém a diretoria concluiu que seria necessário analisar não só apenas a capacidade dos maquinários, mas incluir também na análise a quebra de um equipamento considerado gargalo e entender como o sistema se comportaria. Sendo assim, foi aplicada a simulação computacional para avaliar sete cenários diferentes propostos pela equipe de engenharia variando em layout, dias trabalhados e quantidade de maquinário. Como resultado, foram selecionados três cenários dentre os 7 propostos. Além disso, foi possível calcular a economia gerada pelo novo plano em relação ao anterior, que foi de aproximadamente R\$ 300.00,00.

Palavras-chave: Simulação. Instalação. Manufatura. Layout.

ABSTRACT

Decision making consists of choosing between alternatives. Within the competitive environment that the evolution of technology has brought, companies need to make decisions with the least possible risk. The use of computer simulation has been shown to be a tool to be considered to assist in this process, especially in manufacturing. In this way, the present work approaches a case study that uses simulation to define the installation plan of one-line machinery in a company of energy accumulators. The implementation of the aforementioned simulation study came about by management decision, objectified in the perspective of creating a line that interconnects three different processes, previously separated into two distinct lines. The installation plan had been made taking into account the capacity of the machinery, but the board concluded that it would be necessary to analyze not only the capacity of the machinery, but also to include in the analysis the variable of breakage in the bottleneck equipment and understand how the system would behave . Therefore, computer simulation was applied to evaluate seven different scenarios proposed by the engineering team, varying in layout, days worked and amount of machinery. As a result, three scenarios were proposed that would meet more assumptions made by the board. Therefore, it was possible to calculate the non-cost of rework that the company obtained, which was approximately R\$300,000.00.

Keywords: Simulation. Instalation. Manufacturing. Layout.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Metodologia de simulação segundo Law	20
Figura 2	– Layout celular do processo de fabricação.....	23
Figura 3	– Processo de fabricação.....	24
Figura 4	– Layout de instalação da nova linha de produção.....	25
Figura 5	– Layout de instalação gradual em fila única.....	27
Figura 6	– Layout de instalação gradual em fila paralela.....	27
Figura 7	– Layout e representação da simulação do cenário A.....	28
Figura 8	– Layout e representação da simulação do cenário B.....	29
Figura 9	– Layout e representação da simulação do cenário C.....	29
Figura 10	– Layout e representação da simulação do cenário D.....	30
Figura 11	– Layout e representação da simulação do cenário E.....	31
Figura 12	– Layout e representação da simulação do cenário F.....	31
Figura 13	– Layout e representação da simulação do cenário G.....	32
Figura 14	– Representação funcional da ferramenta <i>Experimenter</i>	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Equipamentos para nova linha de produção.....	25
Quadro 2 –	Demandas a serem atingidas para cada cenário.....	26
Quadro 3 –	Parâmetros do cenário A.....	28
Quadro 4 –	Parâmetros do cenário B.....	28
Quadro 5 –	Parâmetros do cenário C	29
Quadro 6 –	Parâmetros do cenário D	30
Quadro 7 –	Parâmetros do cenário E.....	30
Quadro 8 –	Parâmetros do cenário F.....	31
Quadro 9 –	Parâmetros do cenário G	32
Quadro 10 –	Resultados de simulação Vs. capacidade proposta da linha.....	34
Quadro 12 –	Demanda mensal para cada ano de produção.....	35
Quadro 12 –	Custos de instalação e mão de obra que atingem a demanda...	37
Quadro 13 –	Plano de instalação sugerido pela simulação.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	11
1.2	JUSTIFICATIVAS	12
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Geral	14
1.3.2	Especificos	14
1.4	ESTRUTURA DO TEXTO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	USO DA SIMULAÇÃO PARA DIFERENTES ESTRUTURAS.....	15
2.2	USO DA SIMULAÇÃO NA MANUFATURA.....	16
3	METODOLOGIA	19
3.1	TIPO DE PESQUISA	19
3.2	MÉTODO DE TRABALHO	19
3.4	DELIMITAÇÕES	22
4	ESTUDO DE CASO	23
4.1	APRESENTAÇÃO GERAL DA EMPRESA	23
4.2	APRESENTAÇÃO GERAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	23
4.3	APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DA NOVA LINHA	24
4.4	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO E CENÁRIOS	26
4.4.1	Simulação no software FlexSim® do cenário A	28
4.4.2	Simulação no software FlexSim® do cenário B	28
4.4.3	Simulação no software FlexSim® do cenário C	29
4.4.4	Simulação no software FlexSim® do cenário D	29
4.4.5	Simulação no software FlexSim® do cenário E	30
4.4.6	Simulação no software FlexSim® do cenário F	31
4.4.7	Simulação no software FlexSim® do cenário G	31
4.5	CONSTRUÇÃO DO PROBLEMA DE COMPUTADOR E VALIDAÇÃO	33
5	DISCUSSÕES	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão decorre da necessidade de reação a um problema. Um problema existe quando se constata uma incompatibilidade entre o estado do cenário atual e o estado desejável (ROBBINS, 2010). Chiavenato (2010) afirma que o processo decisório é o caminho mental que o decisor utiliza, afetado pelas características pessoais e a própria percepção, para chegar a um veredito, sendo passível de erros, envolvendo riscos, perdas financeiras e com possibilidade de gerar desperdícios e retrabalho.

Geralmente, é possível mitigar tais riscos por experiência gerencial ou modelos matemáticos (PAGLIARUSSI, 2017). Com o avanço tecnológico, é possível utilizar softwares para compilar esses modelos matemáticos facilitando o acesso à informação e abrangendo o uso desse tipo de ferramenta, a simulação. Tal abordagem é útil para as empresas devido às vantagens da simulação (NEGAHBAN, 2014).

A modelagem de sistemas é importante para produzir *insights* sobre sistemas complexos, analisando diferentes perspectivas, novas políticas operacionais ou de recursos e novos conceitos ou sistemas, analisando a sua performance em termos de produtividade e os efeitos produzidos por cada fator envolvido, reunindo informações e conhecimentos sem interferir no sistema real (YADAV; JAYSWAL, 2019).

Segundo Montevechi et al. (2010), a modelagem e simulação vem sendo utilizada em organizações pois elas proporcionam a análise de sistemas que ainda não existem, gerando informações úteis para aplicações futuras. Com a capacidade de ampliação de mercado que os conceitos desenvolvidos pela indústria 4.0, ficou evidente a necessidade, pelas empresas, de desenvolver maiores conhecimentos sobre sistemas de simulação na manufatura (POLENGHI et al, 2018).

Existe no mercado diferentes softwares de simulação para às diferentes abordagens e condições de processos. Mourtzis et al. (2014) publicou um estudo considerado um intervalo de 54 anos (1960-2014) e apresentou uma comparação entre cinco dos softwares líderes na área de simulação de fluxo de material. Como resultado dos softwares avaliados, destaca-se o FlexSim® pelos seus aspectos visuais, suporte, bibliotecas, eficiência e ferramentas estatísticas, de experimentação e análise

Sendo assim, por meio da simulação computacional com o FlexSim®, esse trabalho busca auxiliar na tomada de decisão de uma equipe de engenharia que tem como objetivo a instalação de uma nova linha de produção. Ao analisar os diferentes planos de instalação de equipamentos propostos pela área, com variação na quantidade de equipamentos, layout e dias de trabalho, construindo-se ao todo sete cenários, para determinar qual melhor plano para atingir a demanda, que também será avaliada.

1.1 DEFINIR PROBLEMA

A empresa analisada possui uma mesma linha para fabricar vários modelos diferentes. Dado o aumento da demanda por um tipo de produto específico, houve a necessidade de implantação de uma linha dedicada. Para alcançar tal objetivo, adquiriu-se uma linha de produção de um fornecedor do exterior que utiliza uma nova tecnologia, que tem por premissa a máxima automatização do processo.

Após realizada a aquisição dessa linha, ficou então, a cargo da engenharia industrial realizar a sua instalação, realizada em três etapas. Para que uma linha possa ser instalada, é necessário apresentar o plano que atenda às necessidades do cliente interno (produção). Além disso, o plano deve estar dentro da verba liberada para a área de instalações pela diretoria geral.

O plano inicial de instalação apresentado pela equipe de engenharia levava em consideração apenas capacidade produtiva das máquinas. Durante a reunião geral do projeto de instalação, alguns questionamentos surgiram da parte de *stakeholders* e até mesmo dos responsáveis pelo projeto.

O questionamento mais predominante foi quanto a incerteza da forma que o sistema se comportaria ao enfrentar uma parada não programada no equipamento gargalo. A linha seria capaz de atingir a demanda mesmo se houvesse uma quebra no equipamento gargalo? Esse questionamento levantou a possibilidade de o investimento não ser bem-sucedido e a empresa não entregar os produtos ao cliente final, sendo necessário replanejar a estratégia por inteiro.

Sendo assim, foi solicitado pela diretoria e pelos *stakeholders* um estudo de simulação. Esse estudo deveria considerar a quebra do equipamento gargalo durante a produção ainda no plano de instalação, com intuito de validar se a demanda seria satisfeita.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para Malec et al (2018), neste mundo complexo, suporte à decisão e gestão da informação é um ativo chave na tomada de decisão de uma corporação. A aplicação de modelos de simulação permite uma seleção mais eficaz de estratégias de manufatura pelas empresas. A implementação de soluções computacionais na engenharia de produção permite reduzir os custos que uma empresa incorre devido a decisões erradas ao planejar e modernizar as linhas de produção (KIKOLSKI, 2017).

A palavra "simulação" faz referência a um combinado de técnicas que buscam reproduzir um comportamento específico de um sistema real ou até mesmo ideal, utilizando tempo e conhecimento para responder a questionamentos feitos em relação a estrutura analisada quando experimentos reais são muito caros ou não podem ser realizados (SOUSA et al, 2019).

De acordo com Negahban (2014), a integração da simulação de sistemas de manufatura com outras técnicas mostrou crescimento nas últimas décadas. Para Ferreira e Reas (2013), a estruturação do layout é uma atividade complexa devido ao alto custo de implantação, longa duração e grau de impacto nos negócios. Erros de projeto de layout podem levar a interrupções no fornecimento, insatisfação do consumidor interno e externo, atrasos na produção e estoque desnecessários, além de altos custos. (KANNAN, 2010; SINGH; YILMA, 2013). O teste virtual dos sistemas de produção da planta na fase de planejamento, surge também como uma aplicação da simulação (DELOITTE, 2018).

O presente trabalho na área de projetos de instalação de máquinas surgiu da necessidade de se tomar uma decisão mais assertiva, levando em conta fatores que podiam impedir o sucesso do projeto. A empresa tinha conhecimento sobre projetos de simulação que tinham sido contratados, outrora, em serviços terceirizados. O avanço da indústria 4.0 fez com que o interesse da empresa despertasse para iniciar análises nesse sentido, sendo esse estudo o primeiro projeto piloto na área de simulação realizado internamente.

Com os resultados desse estudo, foi possível realizar um melhor planejamento a curto, médio e longo prazo quanto aos bens da empresa. Além disso, esse projeto abriu precedentes para que a empresa iniciasse a construção de um laboratório de simulação, ao perceber o quão mais assertivas as decisões poderiam ser tomadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Aplicar a simulação computacional para definir a estratégia de instalação de uma nova linha de produção, considerando a quantidade de máquinas, o layout e o regime de trabalho que deve ser aplicado.

1.3.2 Específicos

- Analisar o atendimento da demanda dos próximos três anos, através de uma análise de cenário;
- Analisar o comportamento do sistema considerando diferentes configurações de paradas no equipamento gargalo;
- Definir o layout de instalação das máquinas do processo de formação em cada ano;
- Avaliar qual cenário é factível para instalação à luz dos objetivos da empresa.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho é constituído por seis capítulos. No capítulo inicial é apresentada a introdução e outros tópicos que contribuem para a compreensão do trabalho, tais como: i) definição do problema; ii) justificativa; iii) objetivos gerais e específicos e iv) estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é desenvolvido a revisão bibliográfica que fornece a base informativa necessária para o estudo. O terceiro capítulo traz a metodologia utilizada no trabalho e suas delimitações. O quarto capítulo é utilizado para apresentar a empresa, a linha estudada, o processo de produção e as demandas esperadas, como também o modelo de simulação e sua lógica de construção no FlexSim®. No capítulo cinco são demonstrados os resultados obtidos e a comparação entre os cenários. No capítulo final são apresentadas as considerações finais sobre o estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas as contribuições acadêmicas para o desenvolvimento e a estruturação dos resultados subsequentes.

2.1 USO DA SIMULAÇÃO PARA DIFERENTES ESTRUTURAS

A simulação é uma técnica de estudo que utiliza modelos matemáticos para dar suporte a tomada de decisão e vem sendo amplamente utilizada nas mais diversas áreas de estudo das Engenharias, graças a evolução tecnológica dos recursos computacionais, que estão mais eficientes ao avaliar cenários complexos sem complexificar o seu uso (CHWIF e MEDINA, 2010).

A literatura dos últimos anos vem demonstrando o que foi dito por Prado (2008), que a simulação tem inúmeras aplicações no mundo real em diversas áreas. Baptista e Rangel (2013) integrou e comunicou em tempo real um modelo de simulação a eventos discretos com um sistema de controle automático de uma via semaforizada. Esse estudo permitiu avaliar o comportamento do trânsito em cada uma das vias e os comandos oriundos do controlador para ativação e desativação dos semáforos.

No ramo da educação, pode-se citar o uso da simulação para explicar conceitos subjetivos no ensino médio aumentando assim a qualidade do aprendizado dos estudantes (RANGEL et al, 2016). Já Ribeiro et al (2017) utilizaram a simulação computacional para analisar cenários de melhoria da qualidade do serviço ofertado pelo aeroporto de Uberlândia no acesso de veículos. Foram apresentados dois cenários de melhoria, um para curto e outro para médio prazo.

Vazquez et al (2018) usaram a simulação para avaliar o desempenho de uma rede de comunicação congestionada de uma universidade, demonstrando a ineficiência de uso de modelos analíticos para análise do problema. Em Chang et al (2019), a simulação foi aplicada no ramo hospitalar com intuito de analisar o comportamento do departamento ambulatorial em hospitais públicos para compreender como os componentes do sistema se relacionavam com o objetivo de melhorar a performance do hospital.

Borges et al (2020) buscaram avaliar por meio de simulação computacional o impacto da implementação de práticas de produção enxuta na cadeia de abastecimento de um hospital público. O modelo considerou a variabilidade de

fornecedores e clientes como entrada, isso permitiu verificar a eficácia das políticas de estoque propostas sem afetar o nível de serviço.

Como dito por Freitas Filho (2008), a simulação é a representação de um sistema em um modelo computacional, que permite avaliar seu desempenho em diferentes cenários para assim descrever o comportamento do sistema, construir teorias e suposições, considerando sempre as observações que foram feitas e usar o modelo para prever os efeitos dos métodos empregados em seu funcionamento.

A avaliação desse desempenho é feita ao medir seu estado atual e/ou futuro, gerando assim informações que podem ajudar a verificar se as estratégias que foram adotadas no modelo cumpriram os objetivos estabelecidos através do desempenho do sistema de indicadores.

2.2 USO DA SIMULAÇÃO NA MANUFATURA

A principal função da simulação de processos é viabilizar o estudo de conceitos de alta complexidade de aplicação em sistemas reais (SILVA, 2017). O estudo de simulação busca entender o comportamento do sistema e os resultados proporcionados por ele sempre devem ser analisados com um pensamento crítico, a fim de identificar se o que foi simulado faz sentido para o sistema real.

Ao focar o olhar para a área de manufatura, e como a simulação auxilia a estruturação de seus sistemas produtivos será possível encontrar inúmeros estudos sobre o assunto. Isso se torna evidente a partir do número total de artigos diretamente relacionados (15.954) do início dos anos 70 até 2014, que a simulação é um campo de pesquisa em constante evolução com contribuição indubitável para o progresso dos sistemas de manufatura (MOURTZIS, DOUKAS, BERNIDAKI, 2014).

Foi feita uma revisão bibliográfica no acervo dos seguintes periódicos, de 2011 até o junho de 2021: gestão e produção, GEPROS, Brazilian Jornal, Production e produção online. E foram destacados os artigos relacionados a simulação em manufatura e suas diversas aplicabilidades.

Pereira et al. (2012) desenvolveram um modelo de simulação para auxiliar na tomada de decisões sobre a programação da produção de um frigorífico de peixe. A construção do modelo possibilitou trabalhar diversas alternativas de cenários, testando diferentes jornadas de trabalho, tipos de fluxos e de capacidade produtiva, além de variações do estoque final com relação às vendas.

De Souza (2014), simulou duas propostas para aumento da capacidade de empresa fabricante de condutores elétricos de alumínio. Uma utilizava produção enxuta e outra a aquisição de maquinários e equipamentos. O estudo demonstrou que a melhor estratégia de aumento da capacidade produtiva foi obtida com a utilização do cenário de produção enxuta, visto que os ganhos em capacidade foram maiores do que os observados na outra estratégia e os custos de implantação menores. Apesar disso, o estudo não conseguiu demonstrar um cenário que atingisse o aumento de capacidade em 20%, como foi solicitado.

Souza e Kogachi (2017), afirma que há vários estudos de simulação na área de mineração o que não os impediu de identificar subáreas para sua aplicação. Sendo assim, propôs um modelo de simulação para o processo de carregamento e transporte de material em uma mineração a céu aberto que representou bem o sistema e foi possível propor melhorias na composição dos equipamentos de transporte e carga utilizados na mina.

Em Pinheiro et al. (2018), foi realizada uma comparação por meio de simulação computacional de diferentes cenários, levando em conta tempo de produção, produtividade e taxa de utilização de recursos, tendo como resultado a entrega de três propostas de solução para produção de capa de chuva com proteção térmica para pets.

Sá Ribeiro et al. (2019) utilizaram a simulação computacional como método complementar ao MFV (Mapa do Fluxo de Valor). Essa combinação permitiu desenvolver um modelo virtual de produção, para uma linha de produção de bobina de filme laminado, que além de representar o fluxo real da produção foi capaz de analisar cenários de otimização das operações da manufatura, bem como apresentou as vantagens da adoção de sistemas inteligentes na linha produtiva.

Faria et al. (2019) avaliaram o desempenho da combinação das técnicas de otimização e simulação de eventos discretos na solução de um problema real de seleção de mix produtivo gerado em função da expansão de uma empresa do setor automotivo. O principal resultado foi melhor aproveitamento da linha e dos operadores. No entanto, se faz necessário estudos futuros levando em conta outras variáveis que terão alto impacto no sistema real.

Assim como Sá Ribeiro et al. (2019), Vilela et al (2020) utilizaram a simulação computacional como método complementar, porém atrelou ao uso do balanceamento de operações em uma indústria de manufatura reduzindo o quantitativo de mão de

obra aplicados a linha de montagem além disso, foi possível reduzir a ociosidade da linha.

Decker Junior et al. (2020) empregaram o uso da simulação com dois objetivos: analisar a aplicação de um planejamento fatorial fracionado e planejamento fatorial completo na simulação de um projeto de manufatura simulando por meio desses dois métodos o layout celular tradicional e o virtual. Concluiu que há superioridade da simulação layout celular na utilização de recursos e mostrou a aplicabilidade de um planejamento experimental reduzido, levando aos mesmos resultados que um planejamento completo.

Apesar de cada estudo ter suas delimitações, condizentes com referências dos vários autores citados, observa-se que a simulação computacional é uma ferramenta importante para manter a competitividade da empresa, pois incentiva a criação de soluções de baixo custo sem a necessidade de interferir nos sistemas reais. Para Mourtzis (2019), as tecnologias baseadas em simulação são um ponto focal das soluções de manufatura digital, pois permitem a experimentação e validação de diferentes produtos, processos e configurações do sistema de manufatura.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o método de simulação para definir a estratégia de instalação de uma nova linha de produção que é regida por um sistema de produção que funciona de forma contínua e em batelada. Frente a diferentes cenários, fez-se necessário determinar o comportamento do sistema para as restrições impostas pelo meio.

A simulação computacional foi escolhida pois com sua gama variada de métodos e aplicações reproduz o comportamento de sistemas reais, usualmente utilizando-se de ferramentas computacionais (KELTON, 1998).

3.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto a abordagem essa pesquisa pode ser caracterizada como quantitativa, pois segundo Terence (2006) ela viabiliza o pesquisador a realizar a mensuração por meio de amostra estatística que representa o universo pesquisado. A pesquisa também deve ser caracterizada quanto a objetivos e procedimentos técnicos.

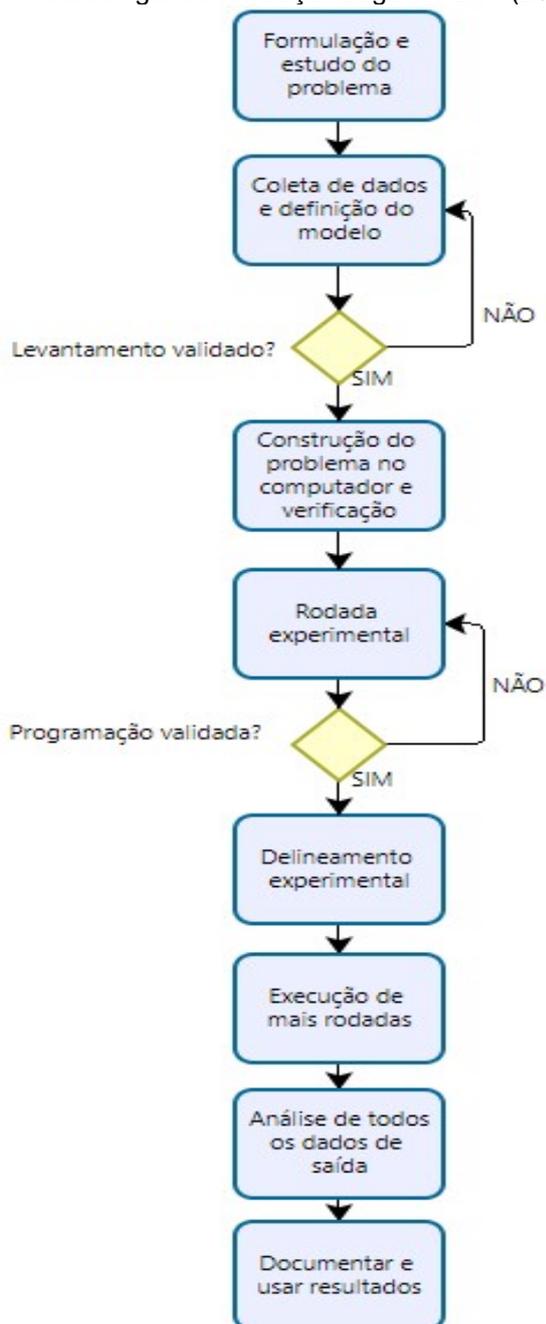
É possível citar alguns objetivos aos quais são atribuídos a maioria das pesquisas: descritivo, exploratório e explicativo. Dentre esses objetivos, o autor considera que por definição o objetivo da presente pesquisa pode ser caracterizado como exploratório, já que Gil (2007) explica que uma pesquisa exploratória visa descobrir ideias e soluções, em busca de obter maior familiaridade com fenômeno de estudo.

No que tange aos procedimentos técnicos para alcançar os objetivos desse estudo, é possível citar a revisão bibliográfica como instrumento para compreender de forma mais profunda os temas importantes para o desenvolvimento do projeto e em seguida o uso do estudo de caso. Segundo Yin (2005), é possível classificar como estudo de caso quando se investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Para alcançar respostas lógicas, segundo Law e Kelton (1991), quando se usa computadores para imitar ou simular as mais variadas operações do mundo real, é necessário ter um modelo, o modelo é construído seguindo uma metodologia. Há algumas metodologias internacionais e nacionais com larga aplicação e citações na área. Para este trabalho, será utilizado a metodologia de Law (2007).

Figura 1 - Metodologia de simulação segundo Law (2007)



Fonte: Autora (2021)

Essa metodologia conta com dez passos, como podemos ver na figura 1. As etapas foram conduzidas da seguinte forma:

Formulação e estudo do problema: O objeto de estudo foi uma multinacional onde são produzidos acumuladores de energia e o sujeito de estudo foi uma linha de produção que realiza enchimento, formação e acabamento dos produtos. Para formular o problema, foi alinhado com a diretoria o que era esperado da análise.

Coleta de dados e definição do modelo: Como o sujeito de estudo ainda não tinha sido implementado na empresa, foi utilizado os dados de tempo padrão do processo de enchimento e formação, enviados pelo fornecedor do maquinário. No entanto, os dados do processo de acabamento foram coletados na empresa, já que esse processo é conhecido. Por esse processo já ser conhecido, havia vários estudos prévios que determinavam a máquina gargalo desse processo e foi utilizado dados históricos para determinar as curvas de probabilidade dos tempos de processo e quebra da máquina gargalo. Com esses dados em mãos, foi delimitado em reunião com as equipes de engenharia e diretoria o que seria analisado.

Cenários: Foram produzidos cenários onde havia quebra no equipamento gargalo, dois tipos de layout, quantidade de máquinas de formação ajustadas ao tamanho da demanda, sendo contabilizados sete cenários ao total.

Análise de todos os dados de saída: Inicialmente foi feito o modelo baseado no cenário ideal para analisar o comportamento e então validar o modelo.

Documentar e usar os resultados: Ao final das análises foi construído uma apresentação para a diretoria com as considerações encontradas pelo resultado do modelo.

A ferramenta utilizada para construir o modelo foi o software FlexSim® versão premium. A escolha pelo FlexSim® foi fundamentada pelo conhecimento prévio do autor com a ferramenta durante o curso de graduação e a parceria feita com a empresa fornecedora do software durante esse estudo. O projeto não procurou explorar e explicar todas as ferramentas que o software oferece e nem teve foco em seu funcionamento na construção de modelo computacionais.

O objetivo não foi dimensionar o número de colaboradores, nem propor mix de produtos na linha, mas utilizar o FlexSim® para definir a estratégia de instalação de uma nova linha de produção.

3.3 DELIMITAÇÕES

Este trabalho se concentra na produção de baterias chumbo ácido específicas. O projeto de simulação está delimitado pelo fato de não abranger todos os modelos que poderiam ser feitos nas máquinas em caso de ociosidade, e não considerar o carregamento e descarregamento dos bancos de forma manual em caso de quebra dos elevadores.

O tempo padrão indicado pelo fornecedor foi utilizado para os processos de enchimento e formação, já que não havia como fazer benchmarking por serem máquinas totalmente novas. No entanto, os dados de processo do acabamento foram ajustados a curva de probabilidade, assim como os dados referentes a quebra do equipamento gargalo. Por motivos de confidencialidade, não é possível demonstrar nesse estudo essa análise.

Além disso, não foram considerados o MTBF e MTTF das demais máquinas das linhas, apenas da máquina gargalo do final de linha. Apenas o modelo para qual as máquinas foram fabricadas foi considerado, sendo o objetivo atingir produção desse tipo de modelo para a demanda específica de cada ano.

Os resultados obtidos através da simulação, não devem ser utilizados em outras empresas de fabricação de bateria chumbo-ácido, devido às particularidades utilizadas na avaliação que fazem com que não possa ser feita comparação se qualquer variável for diferente. As conclusões propostas podem não atender as expectativas, caso os parâmetros considerados nesse estudo sejam modificados. Por fim, alguns dados não podem ser divulgados para não infringir as políticas de segurança da empresa em questão.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação metodológica do processo de simulação.

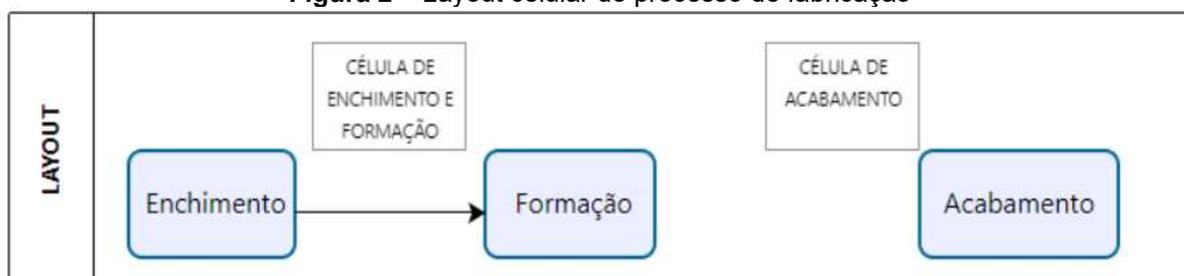
4.1 APRESENTAÇÃO GERAL DA EMPRESA

A empresa estudada é especialista em acumuladores de energia. Hoje é constituída por seis plantas industriais – cinco no Brasil e uma na Argentina –, um centro tecnológico e logístico avançado e uma produção com mais de 7,5 milhões de baterias anuais, uma referência no seu segmento que subsidiam baterias para grandes montadoras mundiais.

4.2 APRESENTAÇÃO GERAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A fabricação desse produto é realizada mediante três processos: enchimento, formação e acabamento. Atualmente, o layout da planta é dividido em duas grandes áreas (figura 02). Se assemelha ao layout celular, que é um híbrido entre linear e funcional. Ao mesmo tempo que fica dividida por setores, também segue uma lógica de produção. Segundo Carvalho et al. (2010), no arranjo celular no início da produção existe uma pré-seleção do produto que é levado para uma célula, uma parte específica, onde sofre transformações. Após isso, é levado para outra célula, localizada em um só local, onde as máquinas produzem o produto (figura 2).

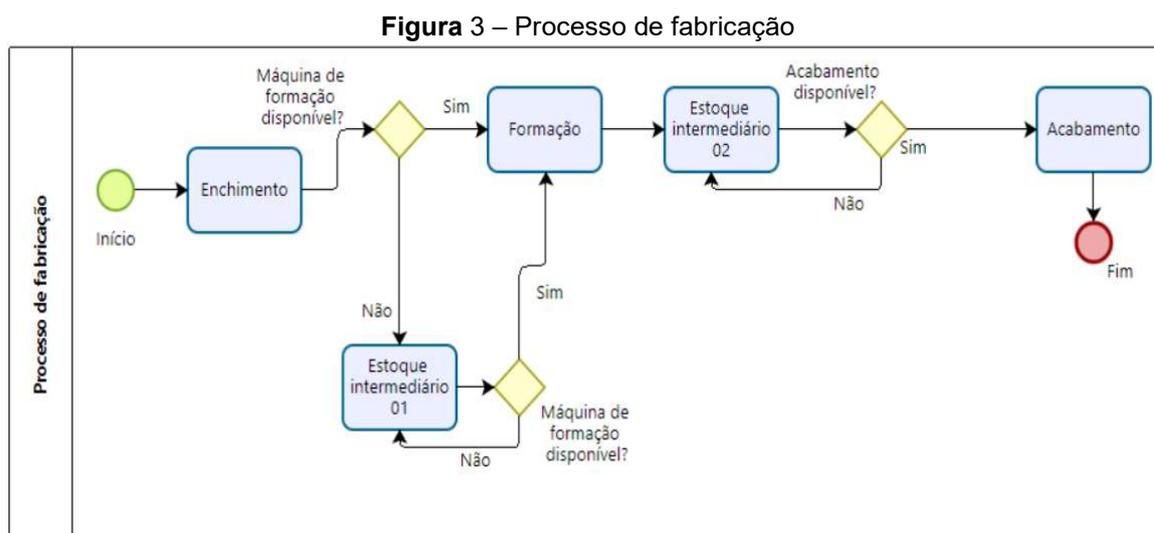
Figura 2 – Layout celular do processo de fabricação



Fonte: Autora (2021)

Quanto a lógica de processo temos que: o enchimento alimenta a formação através de esteiras. As máquinas de enchimento funcionam em regime contínuo e as máquinas de formação em regime de batelada. Dessa forma, o uso de um buffer se

faz necessário à medida que as bateladas estão sendo processadas. As máquinas de enchimento alimentam o estoque intermediário 01 (figura 03). Esse estoque também será utilizado para abastecer o processo de formação ao término das bateladas. Após o processo de formação, o produto vai para o estoque intermediário 02 (figura 3) e então segue para o processo de acabamento. Este último processo opera no regime contínuo.



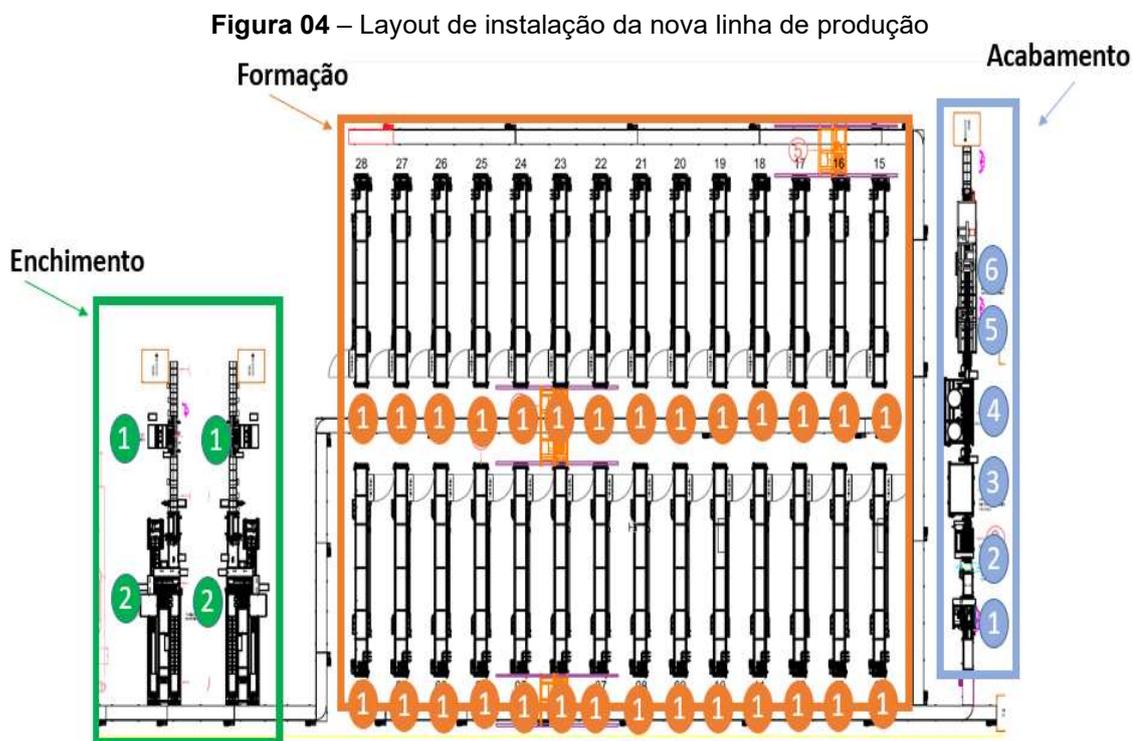
Fonte: Autora (2021)

As linhas de produção da unidade analisada atuam no regime descrito acima, pois fabricam diferentes modelos na mesma linha. Com o aumento da demanda por um produto específico, foi definido a necessidade de uma linha dedicada. O time de engenharia de produto buscou novas tecnologias para esse processo, já que internamente não havia nenhuma linha que tivesse essa característica. O objetivo foi buscar uma linha dedicada, totalmente interligada e automatizada. Neste trabalho não será abordado quais análises levaram a decisão da aquisição dessa linha.

4.3 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DA NOVA LINHA

A linha que foi adquirida, em um fornecedor do exterior, possui um layout linear. Ou seja, uma operação imediatamente adjacente à anterior e os equipamentos dispostos de acordo com a sequência de operações. De acordo com Cunha et al. (2002), as principais características desse arranjo físico são a redução de material em processo, o menor congestionamento nos postos de trabalho, pequeno manuseio de materiais, alta produtividade e baixo custo de treinamento de mão de obra. Sendo assim, com essa nova linha todos os três processos seriam interligados por esteiras,

e não seria necessário o uso de estoque intermediário. O trabalho manual seria utilizado apenas para abastecer o início da linha com a matéria prima e a retirada do produto ao término do processo de acabamento. Na figura 04 podemos ver como foi proposto o layout dessa nova linha com todas as máquinas instaladas:



Legenda:
 1,2 - Máquinas do processo de enchimento
 1 - Máquinas do processo de formação
 1,2,3,4,5 e 6 - Máquinas do processo de acabamento

Fonte: Autora (2021)

Por motivos de sigilo, não é possível divulgar o nome de todos os equipamentos. O quadro 1 descreve a quantidade de equipamentos por processo, elevadores e esteiras que foram adquiridos.

Quadro 01 – Equipamentos para novas linhas de produção

Equipamentos	Quantidade de linhas	Quantidade de equipamentos
Processo de enchimento	2	4
Processo de formação	1	28
Processo de acabamento	1	6
Elevadores	x	3
Esteiras	x	8

Fonte: Autora (2021)

Com os equipamentos adquiridos, ficou então a cargo do departamento de engenharia industrial a instalação dessa linha. A instalação do processo de enchimento e acabamento deve ser feita por completo no primeiro ano, logo o

processo de instalação deles não são levados em conta na análise. Porém, a instalação do processo de formação deveria ser feita de forma gradual, sendo o processo de instalação dele, o alvo desse estudo.

Os bancos de formação (nome dado as máquinas do processo de formação), devem ser instalados de acordo com a demanda de produção de cada ano. A diretoria faz essa premissa, no intuito de reduzir o custo de instalação do projeto, já que a área recebe uma verba limitada para gastos em instalação por ano. O departamento de planejamento e produção enviou as demandas esperadas pelos próximos três anos para que a equipe pudesse planejar a quantidade de maquinários necessários ao processo de formação anualmente.

As máquinas de acabamento têm um histórico de quebra, principalmente a máquina A4 (a letra “A” corresponde ao acabamento e o número “4” corresponde a máquina quatro demonstrada na figura 04 na área de acabamento) que é o equipamento gargalo desse processo. Isso levantou vários questionamentos quanto ao sucesso na instalação dessa nova tecnologia ao conseguir atingir a demanda esperada, já que uma perda por quebra no layout de produção utilizado anteriormente era amortizada pelos estoques intermediários.

Por meio de reuniões entre as equipes de engenharia e diretoria foi solicitado que houvesse um estudo de modelagem e simulação. Esse estudo teria como objetivo principal aplicar a simulação computacional para definir a estratégia de instalação de uma nova linha de produção, adicionando a variável de quebra no maquinário A4 no plano de instalação apresentado pela equipe de engenharia industrial.

4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO E CENÁRIOS

Na busca de atender os questionamentos da diretoria, as equipes de engenharias propuseram reuniões para definir quais cenários seriam simulados computacionalmente. Foram acordados a construção de sete cenários, e eles foram nomeados do A ao G. Sendo assim, foi feita a configuração demonstrada na tabela 02:

Quadro 02 – Demandas a serem atingidas para cada cenário

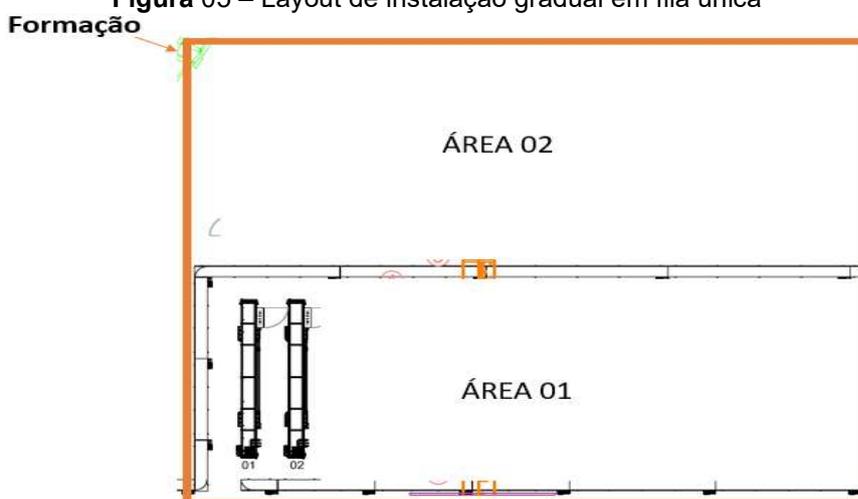
Cenário teste	Demanda a ser atingida
A	100.000
B, D, E e F	200.000
C e G	500.000

Fonte: Autora (2021)

Em todos os cenários foi inserida a variável de quebra no equipamento A4. Foi considerado em cada cenário o tempo de simulação de um mês (30 dias). Os cenários podiam admitir dois regimes de trabalho: de segunda a sábado ou de domingo a domingo, operando os três turnos.

Além disso a área delimitada para a instalação dos bancos de formação podia compor dois tipos de layout. O layout em fila única que compreendia até 14 bancos, enfileirados um atrás do outro (ver Figura 05).

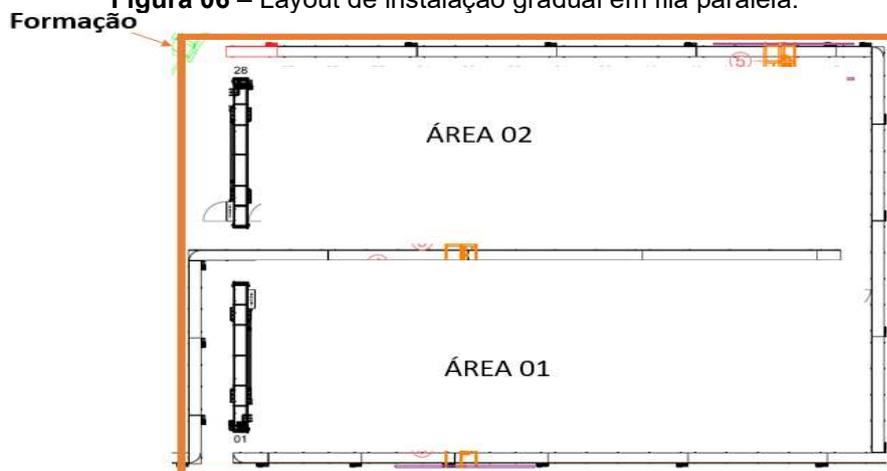
Figura 05 – Layout de instalação gradual em fila única



Fonte: Autora (2021)

Poderia ser utilizado até que a área 01 fosse preenchida, e então a instalação começaria a formar a segunda fila na área 02. E o layout em paralelo, que são os bancos instalados lado a lado tanto na área 01, como na área 02 (ver Figura 06).

Figura 06 – Layout de instalação gradual em fila paralela.



Fonte: Autora (2021)

Em seguida apresentam-se os cenários avaliados.

4.4.1 Simulação no software FlexSim® do cenário A

O cenário A, tinha objetivo de analisar se a linha seria capaz de atingir a demanda do ano 01. No quadro 3 é possível ver a descrição do cenário, e na figura 07 a disposição do layout:

Quadro 03 – Parâmetros do cenário A

Cenário A				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Em fila	6x1	8	8	2

Fonte: Autora (2021)

Figura 07 – Layout e representação da simulação do cenário A



Fonte: Autora (2021)

4.4.2 Simulação no software FlexSim® do cenário B

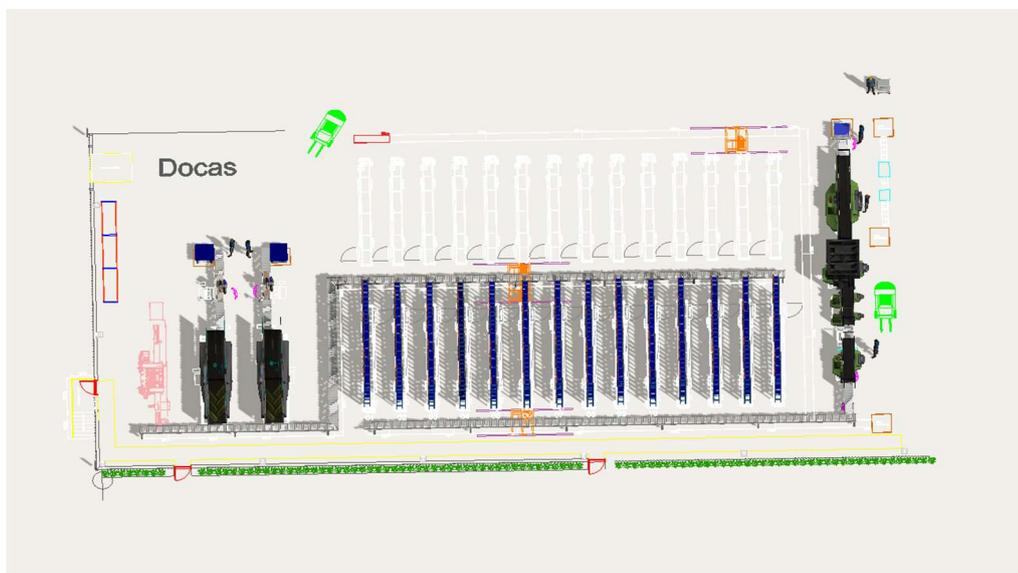
Para o cenário B, o foco foi atingir a demanda do ano 02. No quadro 04 está a descrição dos parâmetros utilizados para programação do cenário e a disposição do layout é apresentada na figura 08.

Quadro 04 – Parâmetros do cenário B

Cenário B				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Em fila	6x1	14	8	2

Fonte: Autora (2021)

Figura 08 – Layout e representação da simulação no software FlexSim® do cenário B



Fonte: Autora (2021)

4.4.3 Simulação no software FlexSim® do cenário C

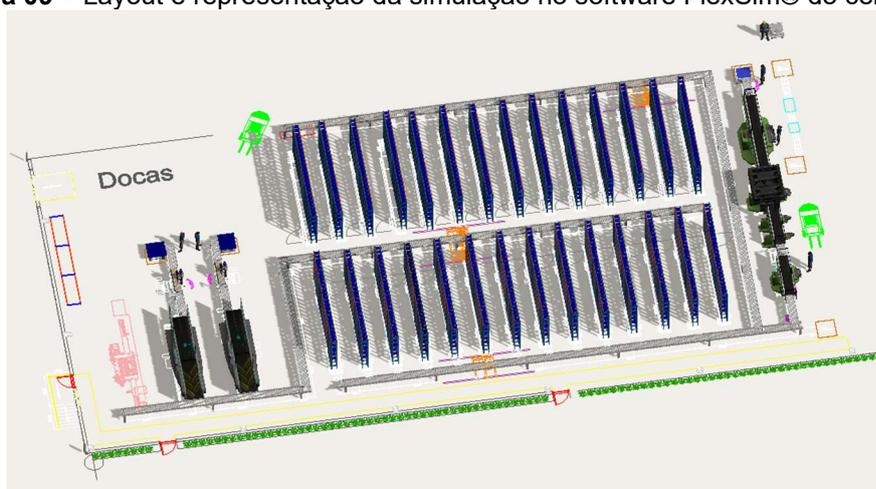
O cenário C teve como alvo atingir a demanda do ano 3. Adotando um layout em duas filas paralelas, já que não havia espaço para uma fila única, e com o regime de trabalho sendo de 6x1 (quadro 5).

Quadro 05 –Parâmetros do cenário C

Cenário C				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Em fila	6x1	28	8	4

Fonte: Autora (2021)

Figura 09 – Layout e representação da simulação no software FlexSim® do cenário C



Fonte: Autora (2021)

4.4.4 Simulação no software FlexSim® do cenário D

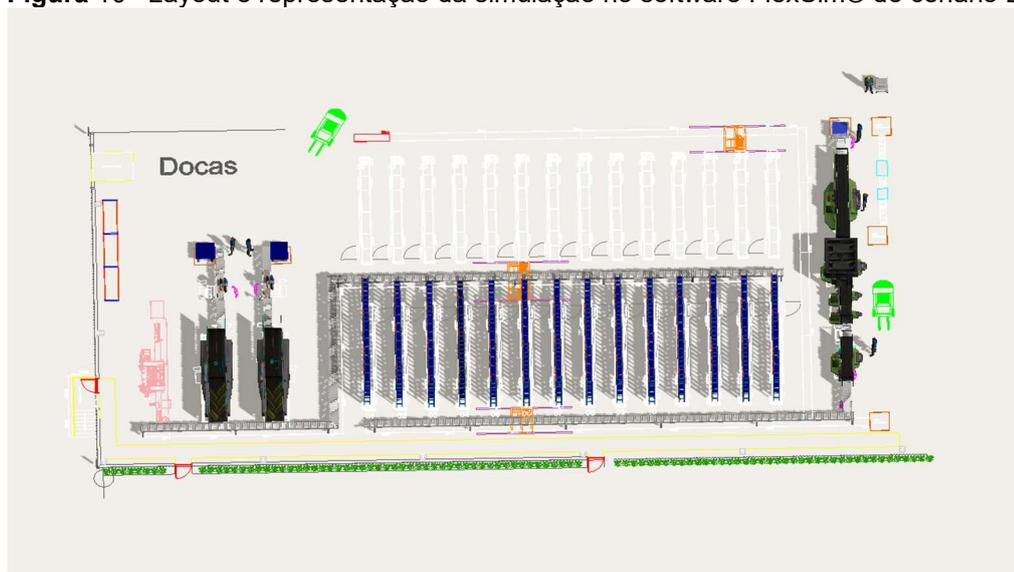
O cenário D teve por objetivo atender a demanda do ano 02, ao modificar o regime de trabalho de 6x1 para 6x2 do cenário B. Ou seja, a linha funcionaria de domingo a domingo nos três turnos, ainda no layout em fila (quadro 6).

Quadro 06 – Parâmetros do cenário D

Cenário D				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Em fila	6x2	14	8	2

Fonte: Autora (2021)

Figura 10 – Layout e representação da simulação no software FlexSim® do cenário D



Fonte: Autora (2021)

4.4.5 Simulação no software FlexSim® do cenário E

O cenário E, também teve por objetivo atender a demanda do ano 02, porém modificando o layout para duas filas em paralelo. Respeitando a restrição que já haveria oito bancos instalados na área 01 (devido a instalação feita para atender a demanda do ano 01), logo, seria complementado a área 02 com sete bancos. O regime de trabalho foi de 6x1(quadro 7).

Quadro 07 – Parâmetros do cenário E

Cenário E				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Paralelo	6x1	14	10	4

Fonte: Autora (2021)

Figura 11 – Layout e representação da simulação no software flexsim® do cenário E



Fonte: Autora (2021)

4.4.6 Simulação no software FlexSim® do cenário F

O cenário F, assim como os dois cenários anteriores teve o objetivo de atender a demanda do ano 02. O regime de trabalho definido foi o 6x2, com doze bancos instalados em duas filas paralelas, uma com oito bancos e a outra com quatro bancos (quadro 8).

Quadro 08 – Parâmetros do cenário F

Cenário F				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Paralelo	6x2	14	10	4

Fonte: Autora (2021)

Figura 12 – Layout e representação da simulação no software FlexSim® do cenário F



Fonte: Autora (2021)

4.4.7 Simulação no software FlexSim® do cenário G

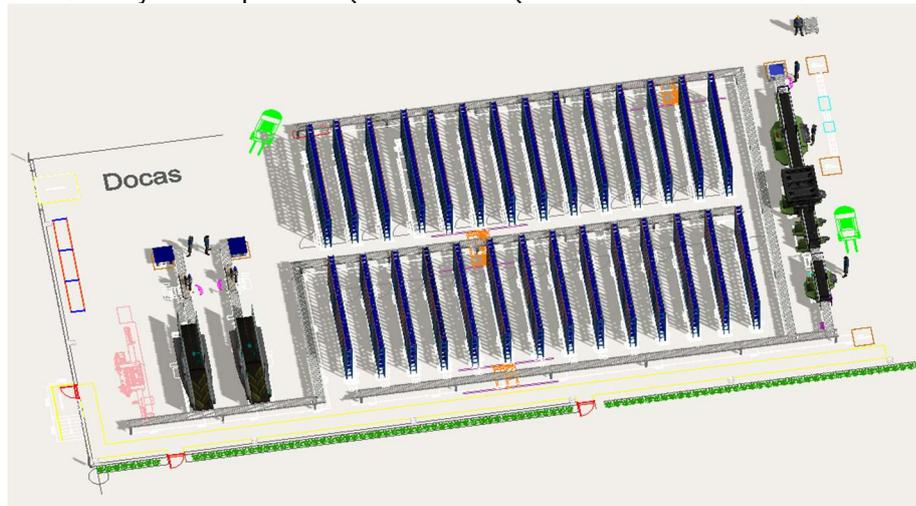
Por fim, o cenário teve objetivo de atender a demanda do ano 03. Por não ter mais possibilidade de alterar o layout de instalação por falta de espaço, esse cenário teve alteração apenas no regime de trabalho, sendo adotado o de 6x2.

Quadro 09 – Parâmetros do cenário G

Cenário G				
Layout	Regime de trabalho	Qtd. de bancos	Qtd de esteiras	Qtd. de elevadores
Em fila	6x2	28	10	4

Fonte: Autora (2021)

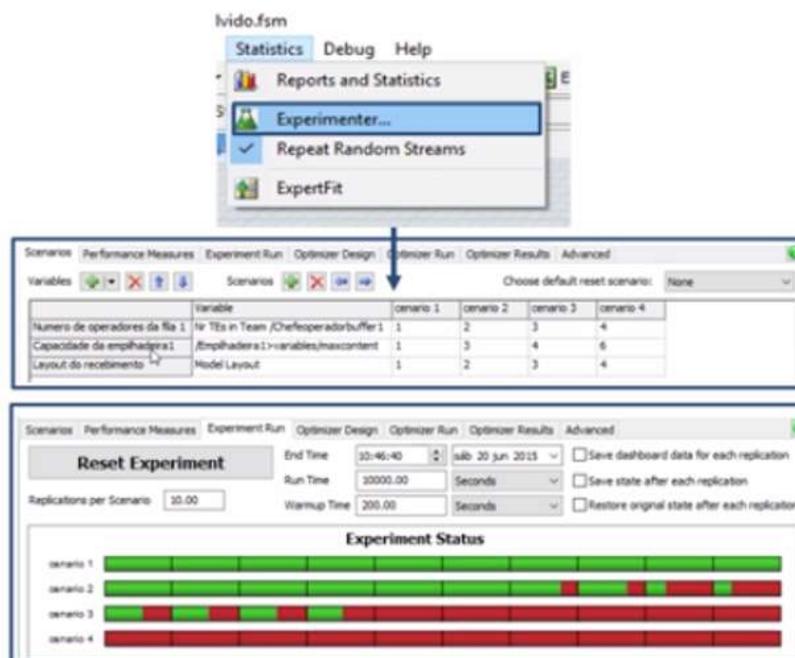
Figura 13 – Layout e representação da simulação no software flexsim® do cenário G



Fonte: Autora (2021)

A construção de cenários serve para comparação, avaliação e estudo de novas opções. A geração de cenários pode ser motivada por analisar: expectativas da equipe, direcionamento gerencial, possibilidades observadas, análise profunda do cenário atual, otimizações entre outras variáveis. O software FlexSim® oferece a ferramenta Experimenter que tem o objetivo de avaliar diferentes cenários ao modificar qualquer variável do modelo (quantidade de recursos, capacidade de filas, entre outros). Essa ferramenta roda múltiplos cenários ao mesmo tempo e apresenta os resultados de desempenho de cada um.

Figura 14 – Representação da ferramenta Experimenter em funcionamento



Fonte: Autora (2021)

Além disso, o software permite a simplificação da lógica de simulação por meio de um módulo que utiliza um fluxograma de processo e ao mesmo tempo também é possível utilizar a representação 3D. Simulações mais complexas podem ser realizadas neste módulo de fluxogramas, dispensando o conhecimento aprofundado em programação (CUEVA, 2016).

As variáveis que foram alteradas dentro da ferramenta Experimenter para a geração de cenários foram: disposição dos bancos dentro do layout, demanda, dias trabalhados, quantidade de bancos de formação e quebra do equipamento gargalo.

É importante salientar que, em todos os cenários não foi considerado a variação de maquinário na linha de enchimento ou na linha de acabamento, sendo essas máquinas sempre fixas em todos os cenários.

4.5 CONSTRUÇÃO DO PROBLEMA NO COMPUTADOR E VALIDAÇÃO

A etapa de validação é a atividade de garantir que o modelo se comporta como o sistema real Kelton et al. (1998). Segundo Williams (2014), o objetivo da etapa de validação é dar credibilidade ao modelo de simulação, pois somente um modelo confiável pode guiar o processo de tomada de decisão gerencial.

Inicialmente o modelo foi construído considerando um cenário ideal, sem quebras, com a instalação de 8 bancos, linha de enchimento e linha de acabamento, considerando o processamento de uma batelada (ou seja, um carregamento único de

produtos nos bancos de formação). O objetivo era que o modelo atingisse a produção esperada, levando em conta a capacidade dos maquinários. Essa validação foi comprovada, pois foi constatado que retornava os valores que foram repassados pela equipe de engenharia de produto e UGS, considerando os tempos de processo e a capacidade dos maquinários.

Quadro 10 – Resultados de simulação Vs. capacidade proposta da linha

Bancos De Formação	Layout	Capacidade da Linha (uma batelada)	Output da simulação
8	Em fila	40.384	48.384

Fonte: Autora (2021)

Com os cenários construídos e a lógica de programação, validada é possível responder as questões levantadas pelos stakeholders, no entanto, as entradas e saídas de um modelo de simulação são aleatórias para não haver enviesamento, logo, não é possível concluir nada com apenas uma replicação. Uma replicação é uma repetição da simulação do modelo com: a mesma configuração, a mesma duração, os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração de números aleatórios diferente Chwif (2010). Segundo Chwif e Medina (2010), busca-se avaliar os resultados das medidas de desempenho por meio de sua precisão, que pode ser avaliada pela variância, e pela confiança estatística, que determina a probabilidade de o intervalo de confiança conter a média da população relativa à medida de desempenho observada.

Para auxiliar no processo de definição de quantidades de replicações necessárias, é preciso determinar a medida de desempenho que será avaliada. Segundo Freitas Filho (2008) a identificação das variáveis de resposta que medem o desempenho do sistema é um ponto crítico. A medida de desempenho que é avaliada nesse estudo é o output do cenário, sendo assim foi utilizada para definir a quantidade de replicações necessárias.

A importância da determinação de intervalos de confiança para as variáveis de resposta no processo de análise de resultados é enfatizada por Freitas Filho (2008). Sabe-se que o valor de $100(1-\alpha) \%$ é o nível de confiança do intervalo que se está analisando. E sendo α o erro aceitável que é definido por quem faz a validação.

Para calcular esse intervalo de confiança, inicialmente, foram feitas vinte replicações de cada um dos cenários validados. Utilizando a média da amostra e o desvio padrão amostral, com um nível de confiança de 95%, obteve-se (ver Tabela 1):

Tabela 1 – Número de replicações do modelo para cada cenário

	Cenários						
	A	B	C	D	E	F	G
Média	105.988	138.701	224.224	197.999	203.000	205.928	517.823
Desvio	1,3139	2,13	1,2773	1,8325	0,656	0,9445	1,099
Nº de aplicações iniciais	20	20	20	20	20	20	20
Nível de Confiança	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Replicações sugeridas	31	80	29	59	8	16	22

Fonte: Autora (2021)

Atenta, também, que as replicações sugeridas na tabela 1 serve para que, diante da amostra, o cálculo que determina a quantidade de replicações necessárias para que o resultado obtido tenha o nível de confiança desejado.

Quadro 11 – Demanda mensal para cada ano de produção

Ano	Demanda mensal
1	100.000
2	200.000
3	500.000

Fonte: Autora (2021)

É considerado sucesso no resultado do cenário quando é possível atingir a demanda proposta.

5 DISCUSSÃO

Levando em conta os dados de output da simulação, foi construído a tabela 2:

Tabela 2 – Resultados do output da simulação dos sete cenários

	Média	Desvio - Padrão	Demanda atingida	Diferença	Êxito
Cenário A - Simulação	105.988,31	0,407	100.000	5.988,31	SIM
Cenário B - Simulação	138.700,00	1,09	200.000	-61.300,00	NÃO
Cenário C - Simulação	244.224,00	0,6227	500.000	-255.776,00	NÃO
Cenário D - Simulação	198.000,00	0,915	200.000	-2.000,00	NÃO
Cenário E - Simulação	203.000,00	0,347	200.000	3.000,00	SIM
Cenário F - Simulação	205.928,00	0,463	200.000	5.928,00	SIM
Cenário G - Simulação	517,824,00	0,5404	500.000	17.824,00	SIM

Fonte: Autora (2021)

O plano de instalação sugerido pela equipe de engenharia industrial para a demanda do ano 01, obteve sucesso. Já que, foi possível atingir a demanda solicitada. Porém, é possível inferir que o cenário B para a demanda do ano 02 não teve sucesso, visto que houve uma diferença de 61.300 produtos que deveriam ter sido produzidos para que atingisse tal objetivo.

Durante a simulação, observou-se que acontecia atrasos na saída das bateladas dos bancos de formação e era visível o acúmulo de produtos na esteira que interligava a linha de formação e a linha de acabamento. Porém, não se buscou investigar a fundo as causas do não atendimento na demanda.

Assim como o cenário B, o cenário C para o ano 03 também não obteve sucesso. Atingindo apenas 48,84% da demanda pretendida. Para o cenário D, mesmo aumentando um dia de trabalho para o layout em fila, é possível observar que a demanda não é atingida.

Apenas a variação no layout de instalação proporciona a sequência de saída de produtos dos bancos de formação a não impactarem na saída de bateladas, conseqüentemente, atingir a demanda como pode ser observado no cenário E. O cenário F, com o layout em duas filas paralelas e com doze bancos de formação instalados também atinge a demanda com uma folga maior.

Para o cenário G, percebeu-se que com o regime de trabalho 6x2, foi possível atingir a meta. Esse fato pode ser explicado pela possibilidade de aumento do número de bateladas durante determinada quantidade de horas, independentemente da quantidade de bancos. Quando o regime se encontra em 6x1, aos domingos não é permitido ter nenhuma batelada em processamento, por questões de segurança, logo a última batelada deve sempre ser encerrada no último turno do sábado. Quando o

regime é 6x2, não há essa limitação, abrindo uma margem maior para a quantidade de bateladas que podem ser processadas por mês.

Como citado anteriormente, além de atender a demanda o cenário deveria atender o orçamento de instalação anual definido pela diretoria. As alternativas propostas nos cenários, também são avaliadas em relação ao custo. Não é possível divulgar o real custo de instalação e mão de obra, sendo os mesmos corrigidos neste trabalho por um fator de correção X.

Para a análise de orçamento foi levado em consideração apenas os cenários que atenderam a demanda. Foi realizada uma análise em relação ao custo anual, analisando o custo relacionado as instalações e a mão de obra de acordo com o regime de trabalho escolhido (valores repassados pela equipe de engenharia industrial, não sendo o foco desse trabalho uma análise detalhada de custos).

Quadro 12 – Custos de instalação e mão de obra que atingem a demanda

CENÁRIO	A	E	F	G
Qtd de bancos	8	14	12	28
Regime de trabalho	6x1	6x1	6x2	6x2
Layout	Fila única	Duas filas	Duas filas	Duas filas
Custos de instalação inicial	R\$ 54.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 92.000,00	R\$ 156.000,00
Custo anual de mão de obra	R\$ 320.880,00	R\$ 320.880,00	R\$ 385.056,00	R\$ 385.056,00
CUSTO TOTAL ANUAL	R\$ 374.880,00	R\$ 420.880,00	R\$ 477.056,00	R\$ 541.056,00

Fonte: Autora (2021)

Para o ano 01, o custo de instalação seria apenas do cenário A com R\$ 374.880,00. Ao analisar os resultados do cenário para a demanda do ano 02, E e F, vê-se que apesar do cenário F possuir um menor quantitativo de equipamentos, o cenário E com quatorze bancos, atende melhor a premissa de instalação em relação ao menor custo. O cenário G, encerraria a instalação do terceiro ano com um total de R\$ 541.056,00.

Sendo assim, a sequência de instalação proposta por esse estudo para o ano 01, 02 e 03 seria A, E e G, respectivamente. No quadro 13 temos um resumo dos resultados:

Quadro 13 – Plano de instalação sugerido pela simulação

Ano	Demanda	Qtd. de bancos	Regime de trab.	Layout	Atendimento de demanda
1	100.000	8	6x1	Fila Única	106%
2	200.000	14	6x1	Duas Filas	102%
3	500.000	28	6x2	Duas Filas	104%

Fonte: Autora (2021)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a modelagem foi possível responder a principal questão levantada, tanto pelos stakeholders quanto pela equipe de projetos. Com o maquinário que já foi adquirido é possível atingir a demanda desejada para os três anos estudados, mesmo se for adicionado a variável de quebra no equipamento gargalo. A preocupação maior dos stakeholders sempre foi o que eles intitulavam de “embrejar”, esse termo é utilizado quando as baterias formam grandes filas entre os processos, fazendo um gargalo e não permitindo que as máquinas anteriores operem. Foi visto que esse problema realmente acontece, mas pode ser sanado ao utilizar uma estratégia diferente de layout, como ilustrado no cenário E.

Além de validar o sucesso do planejamento inicial de instalação, a modelagem possibilitou a visualização de diferentes cenários indicando os problemas que seriam enfrentados pela equipe de projeto e instalação. Apesar dos demais valores de custo estarem com fatores de correção, a empresa em questão permitiu que fossem divulgados neste trabalho o não custo de retrabalho que esse estudo proporcionou que foi de aproximadamente R\$ 300.000,00.

Outros estudos mais aprofundados podem ser feitos, levando em conta outros objetivos de desempenho para que se possa apresentar a solução otimizada para a empresa.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Rodrigo César Teixeira; RANGEL, João José de Assis. **Simulação a eventos discretos de uma via semaforizada com controle automatizado em tempo real**. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 290-317, mar. 2013. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1149>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v13i1.1149>.
- BORGES, Gabriela Aline et al. **Simulation-based analysis of lean practices implementation on the supply chain of a public hospital**. Production [online]. 2020, v. 30 [Accessed 11 July 2021]. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190131>>. acesso em 15 jun. 2020. ISSN 1980-5411. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190131>.
- CHANG JUNIOR, J.; LIMA, F.; FERNANDES, A.; GUARDIA, F.; DA SILVA, V.; MACCHERI, G. **Computer Simulation Model for Outpatient Clinics in a Brazilian Large Public Hospital Specialized in Cardiology**. Brazilian Journal of Operations & Production Management, v. 16, n. 1, p. 14-32, 7 mar. 2019.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Comportamento organizacional: a dinâmica do sucesso das organizações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 539 p.
- CHWIF, Leonardo & MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3. Ed. rev. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.
- CUEVA, M. **Next generation simulation modeling with Process Flow**, 4 abr. 2016. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/general/next-generation-simulation-modeling-with-process-flow/>>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- DE SOUZA, Tiago Augusto Amarante et al. **Simulação e lean thinking como ferramentas para gestão de processos: uma avaliação de diferentes alternativas ao aumento da capacidade em uma empresa de cabos elétricos de alumínio**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, [S.l.], n. 4, p. 125, ago. 2014. ISSN 1984-2430. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1133>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v9i4.1133>.
- DECKER JUNIOR, Claudio Decker et al. **Comparação dos projetos fatoriais completo e fracionado em um modelo de simulação de eventos discretos em um sistema de manufatura para os leiautes celular e celular virtual**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 23, jun. 2020. ISSN 1984-2430. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/2422>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v15i2.2422>.
- DELOITTE and Singularity University. **Exponential Technologies in Manufacturing: Transforming the Future of Manufacturing through Technology, Talent and the Innovation Ecosystem.** 2018.

FARIA, Luís Filipe Figueira de; SILVA, João Eduardo Azevedo Ramos da; FERREIRA, Deisemara. **Combinação de Técnicas: Otimização-Simulação em uma Empresa do Setor Automotivo**. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 93, set. 2019. ISSN 1984-2430. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/2300>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v14i4.2300>.

FERREIRA, J.C.E; REAES, P.A. **Performance comparison of the virtual cell layout with cellular and job shop configurations using simulation and design of experiments**. In: 9th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. IEE CASE, Madison, Wisconsin, EUA: IEEE Robotics and Automation Society, p.795-800, 2013.

FREITAS FILHO, P. J.; **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**, 2ª Edição; Florianópolis; Visual Books; 2008.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

KANNAN, V. R. **Analyzing the Trade-off Between Efficiency and Flexibility in Cellular Manufacturing Systems**. *Production Planning & Control*, v. 9, n.4, p. 572-579, 2010.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

KIKOLSKI, Mateusz. Estudo de cenários de produção com a utilização de modelos de simulação. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 321-328, 2017.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation modeling and Analysis**. 2. ed. [S.l]: McGraw-Hill International Editions, 1991.

LAW, Averill M.; **Simulation modeling and Analysis**. 4. ed. [S.l]: McGraw-Hill International Editions, 2007.

MALEC, Elzbieta. Os benefícios do uso de modelos de simulação computacional para apoiar a tomada de decisão. In: *Avanços na Manufatura*. **Springer, Cham**, 2018. p. 205-214.

MONTEVECHI, J. A.; COSTA, R.; LEAL, F.; PINHO, A. **Economic evaluation of scenarios for manufacturing systems using discrete event simulation-based experiments**. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 7, n. 1, p. 77-103, 4 jul. 2010.

MOURTZIS, D. (2019). **Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends**. *International Journal of Production Research*, 1–23. doi:10.1080/00207543.2019.1636321.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. **Simulation in manufacturing: review and challenges**. *Procedia CIRP*, v. 25, p. 213-229, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>.

PAGLIARUSSI, Marina Sanches, MORABITO, Reinaldo e Santos, OLIVEIRA, Maristela. **Otimização da programação da produção de bebidas à base de frutas por meio de modelos de programação inteira mista.** Gestão & Produção [online]. 2017, v. 24, n. 1 [Acessado 3 Agosto 2021] , pp. 64-77. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0104-530X2288-15>>. Epub 12 Dez 2016. ISSN 1806-9649. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2288-15>.

PEREIRA, Carla Roberta; BUENO DA COSTA, Miguel Antonio. **Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe.** Revista Produção Online, Florianópolis, v. 12, n. 4, p. 972-1001, nov. 2012. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/994>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i4.994>.

PINHEIRO, N.; ORDOÑEZ, R.; BARBOSA, G.; DEDINI, F. **Computational simulation applied in choosing the best solution in a product development using design for manufacturing and assembly approach.** Brazilian Journal of Operations & Production Management, v. 15, n. 4, p. 618-628, 25 nov. 2018.

POLENGHI, A.; FUMAGALLI, L.; RODA, I. **Role of simulation in industrial engineering: focus on manufacturing systems.** IFAC-Papers On Line, v. 51, n. 11, p. 496-501, 2018

PRADO, Darci S. **Usando o ARENA em Simulação.** 3. ed. Belo Horizonte: Ed. INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2008.

RANGEL, C.; RANGEL, J. J.; SHIMODA, E.; DO NASCIMENTO, J. **DISCRETE-EVENT SIMULATION MODELS FOR DIDACTIC SUPPORT.** Brazilian Journal of Operations & Production Management, v. 13, n. 3, p. 300-318, 29 set. 2016.

RIBEIRO, Hugo Alves Silva; PINTO, Kleber Carlos Ribeiro; PEIXOTO, Nathane Eva Santos. **Análise do Processo de Entrada e Saída de Veículos no Aeroporto Regional de Uberlândia: Um Modelo de Simulação.** Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 320, nov. 2017. ISSN 1984-2430. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1830>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v12i4.1830>.

ROBBINS, Stephen; JUDGE, Timothy; SOBRAL, Filipe. **Comportamento organizacional: teoria e prática no contexto brasileiro.** 14. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 633 p.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração.** São Paulo: Atlas, 1999.

SÁ RIBEIRO, Danilo Ribamar et al. **Mapeamento do fluxo de valor e uso da simulação integrada lean com sistemas ciber-físicos em uma indústria de embalagens flexíveis.** Revista Produção Online, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 346-374, mar. 2019. ISSN 16761901. Disponível em:

<<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/3363>>. Acesso em: 11 jul. 2021.
doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i1.3363>.

SILVA, G.F. **Procedimento para análise de sistemas de produção compartilhada utilizando otimização baseada em simulação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2017.

SINGH, A. P.; YILMA, M. **Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company**. In: IEEE International Conference on Control, Decision and Information Technologies. CoDIT, Hammamet, Tunisia: p. 822 – 828, 2013.

SOUSA JUNIOR, W. T. et al. **Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review**. Computers & Industrial Engineering, v. 128, p. 526-540, 2019

SOUZA, Jackson Kentelly Marculino; KOGACHI, Edson Tetsuo. **Modelagem e simulação como instrumento de apoio às tomadas de decisão e mudança de cenário para melhoria na produtividade: o caso de uma mineração**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 197, set. 2017. ISSN 1984-2430. Disponível em:
<<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1704>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15675/gepros.v12i3.1704>.

TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO-FILHO, E. **Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais**. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006, Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza: ENEGEP, 2006.

VAZQUEZ, Mariana, MORABITO, Reinaldo e MARCONDES, Cesar. **Caracterização, modelagem e simulação de enlace congestionado de uma universidade**. Gestão & Produção [online]. 2018, v. 25, n. 3 [Acessado 11 Julho 2021] , pp. 583-594. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0104-530X1429-14>>. Epub 08 Set 2015. ISSN 1806-9649. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1429-14>.

VILELA, Flávio Fraga et al. **Balanceamento de operações e simulação a eventos discretos: redução da ociosidade dos operadores em uma linha de montagem**. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 472-492, jun. 2020. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/3842>>. Acesso em: 11 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v20i2.3842>.

WILLIAMS, E. J. **Simulation attacks manufacturing challenges**. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2014, Savannah, Georgia, USA. Proceedings... Savannah, Georgia, USA, 2014. p. 81-89.

YADAV, A.; JAYSWAL, S. C. **Evaluation of batching and layout on the performance of flexible manufacturing system**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 101, n. 5-8, p. 1435-1449, 2019.

YIN. R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2005.