

UTILIZAÇÃO DOS GÊMEOS DIGITAIS NO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS

Vinícius Oliveira Selva – vinicius.o.selva@outlook.com

Milton Vieira Junior (Orientador) – milton.junior@mackenzie.br

RESUMO

As indústrias vêm se desenvolvendo cada vez mais com o avanço da tecnologia, e para acompanhar esse crescimento de forma precisa é necessário planejar os processos a fim de otimizar o trabalho em linhas de produção, reduzir custos e identificar possíveis falhas que possam surgir com o passar do tempo ou na implantação de uma nova máquina ou tecnologia no processo. Uma tecnologia que vem auxiliando nesse planejamento junto com a quarta revolução industrial, que se vivencia atualmente, é o Digital Twin, que parte do princípio de virtualização de um ambiente produtivo. O presente trabalho contemplará a estrutura de um Gêmeo Digital, com o objetivo de apresentar seu comportamento em um planejamento de processo de usinagem. O produto esperado é uma proposta em que a tomada de decisões seja automatizada e otimizada da melhor forma possível, realimentando o Gêmeo Digital com os dados de produção para que o produto acabado seja realizado sem atrasos, imperfeições e dentro das tolerâncias esperadas.

Palavras-chave: *Digital Twin*, Indústria 4.0, Simulação de processos, Planejamento de Processos auxiliados por computador.

USE OF DIGITAL TWINS IN PROCESS PLANNING

ABSTRACT

Industries have been developing more and more with the advances of technology, and to follow this growth accurately it is necessary to plan processes in order to optimize work on production lines, reduce costs and identify possible failures that may arise over time. of time or the implementation of a new machine or technology in the process. A technology that has been helping in this planning along with the fourth industrial revolution, which we are currently experiencing, is the Digital Twin, which starts from the principle of virtualization of a productive environment. The present work will contemplate the structure of a Digital Twin, with the objective of presenting its behavior in a machining process planning. The expected product is a proposal in which decision-making is automated and optimized in the best possible way, feeding back the Digital Twin with production data so that the finished product is carried out without delays, imperfections and within the expected tolerances.

Keywords: Digital Twin, Industry 4.0, Process Simulation, Computer Aided Process Planning.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da demanda por novos produtos e serviços à medida em que a tecnologia foi se desenvolvendo, as indústrias passaram por diversas transformações para que pudessem suprir essa necessidade apresentada pelo mercado, sem gerar impacto negativo à sua posição competitiva. Essas transformações se iniciaram ainda na primeira revolução industrial, a qual decorre do desenvolvimento das máquinas a vapor e do surgimento das classes operárias (SACOMANO et al., 2018).

Com o aumento da produção do aço máquinas mais modernas puderam ser desenvolvidas, e combinadas com o uso da energia elétrica foram essenciais para o crescimento e avanço da manufatura. Esse crescimento deu origem ao aperfeiçoamento do trabalho e à manufatura em massa, que ganhou força na segunda revolução industrial (que decorre do uso da eletricidade nas atividades de produção) (SACOMANO et al., 2018).

Após a segunda guerra mundial o Japão estava devastado e o modelo de produção em massa de Ford já não era viável; então a Toyota criou seu próprio sistema de produção, baseado em uma produção sem desperdícios conhecida como *lean manufacturing* (SCHWAB, 2016), que mudou a forma e a filosofia de produção.

No final dos anos 60, surgem os primeiros CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) que, combinados com o avanço da tecnologia da informação, possibilitaram a automação nas indústrias, marcando a terceira revolução industrial (SACOMANO et al., 2018).

Com o passar do tempo os equipamentos eletrônicos de desenvolveram, novos softwares foram surgindo, possibilitando a integração das máquinas. Essa integração possibilitou a comunicação por meio da troca de informações entre as máquinas e equipamentos nas indústrias, resultando na chamada quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0 ou ainda Manufatura Avançada (SCHWAB, 2016).

Atualmente, é possível dizer que se está vivenciando essa quarta revolução industrial, na qual a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA) e a comunicação entre as máquinas se tornam cada vez mais comuns nas indústrias.

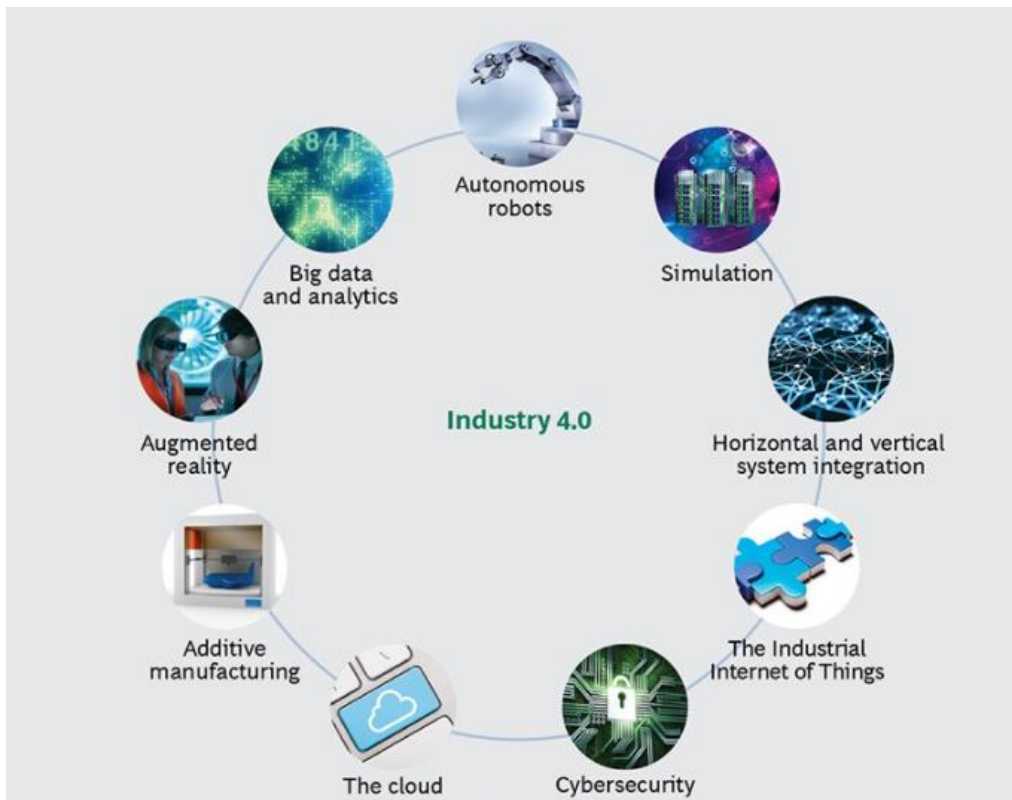
Existem elementos considerados como base para uma indústria 4.0, a saber:

- M2M (Machine to Machine):
Permite que máquinas e equipamentos troquem informações e dados entre si, de forma autônoma, ou seja, sem a interferência humana (SACOMANO et al., 2018);

- **I.A (Inteligência Artificial):**
Estudo de dispositivos e sistemas computacionais feitos para interagir com as pessoas, de maneira que se poderia dizer que sejam inteligentes (SACOMANO et al., 2018);
- **Big Data/Analytics:**
Ativos de informação gerados em alto volume, velocidade e variedade, que demandam formas inovadoras de processamento de informação, economicamente viáveis, para maior compreensão e tomada de decisão (RÜßMANN et al., 2015). Como o volume de dados a serem analisados fica cada vez maior, usa-se o termo big data analytics para caracterizar a análise desta grande quantidade de dados.
- **Computação em Nuvem:**
Esse conceito vem da ideia de que não se sabe corretamente onde os dados estão sendo processados ou armazenados. Não estando em um local fixo, mas em um ambiente virtual (“nuvem”) (SACOMANO et al., 2018);
- **Integração de Sistemas:**
Conexão/comunicação de máquinas e sistemas através da troca de informações (SACOMANO et al., 2018);
- **Simulações:**
A simulação é utilizada nas indústrias para análise de dados em tempo real e testes sem que seja preciso desenvolver a aplicação física, possibilitando o aperfeiçoamento do trabalho das máquinas, disponibilizando um ambiente virtual antes de qualquer decisão, gerando otimização de recursos, melhor performance economia (RÜßMANN et al., 2015);
- **Robôs Autônomos:**
São robôs dotados de I.A., capazes de tomar decisões de forma autônoma e baseada em conhecimento e programação prévia. A inclusão de robôs inteligentes aos processos industriais auxilia no desempenho, sendo autônomos, flexíveis e cooperativos (RÜßMANN et al., 2015);
- **Tecnologia de manufatura aditiva:**
Conhecida como impressão em 3D, esta tecnologia pode ser utilizada para criar produtos personalizados que oferecem vantagens na construção de designs complexos (RÜßMANN et al., 2015);
- **Tecnologia de realidade aumentada:**
Pode permitir a interação com a planta de uma fábrica de modo virtual, visando fornecer aos trabalhadores informações em tempo real para melhor tomada de decisões e procedimentos de trabalho (RÜßMANN et al., 2015);

A Figura 1 ilustra esses elementos base que compõem a Indústria 4.0.

Figura 1 - As 9 tecnologias que habilitam a Indústria 4.0



Fonte: RÜßMANN et al (2015).

A combinação desses elementos possibilita cada vez mais o surgimento de novas tecnologias que contribuem no planejamento e otimização de processos.

O planejamento de processos, por sua vez, é fundamental para as indústrias. Com ele é possível a tomada de decisões importantes dos processos de produção de uma indústria. Essas decisões, segundo Ribeiro et al. (2020), consistem em:

- Seleção de matéria prima e seu método de fabricação;
- Seleção dos processos;
- Determinação da sequência das operações;
- Métodos utilizados para cada sequência de operação;
- Seleção dos equipamentos/ferramentas;
- Tolerâncias e especificações técnicas que devem ser atendidas;
- Condições e padrões para cada atividade.

Para a tomada dessas decisões, a Indústria 4.0 necessita do auxílio de tecnologias e combinações de seus elementos base, que deram origem ao CAPP (do inglês *Computer Aided in Process Planning*,

ou Planejamento de Processo Auxiliado por Computador) que consiste em uma lista de operações de produção, sequenciamento de operações associadas ao regime de trabalho.

Outra tecnologia que possibilita essa tomada de decisão são os Gêmeos Digitais (no inglês, *Digital Twins*), que por meio da virtualização das linhas de produção viabilizaram o planejamento de processos em tempo real (KRITZINGER et al., 2018).

Nesse contexto surge a seguinte questão de pesquisa: “Num ambiente de Indústria 4.0, como o uso de Gêmeos Digitais pode auxiliar o Planejamento de Processos em tempo real?”.

O objetivo deste trabalho é analisar e compreender como as indústrias, no contexto da Indústria 4.0, podem utilizar os gêmeos digitais para planejar seus processos, e propor um GD conceitual que realize o planejamento do processo em tempo real a partir das condições de fabricação observadas em tempo real.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste item são apresentados os fundamentos teóricos e empíricos que embasam o presente trabalho. São apresentados os conceitos e aplicações sobre Indústria 4.0, Conceitos e Tecnologias Habilitadoras da I4.0; Gêmeos Digitais – Conceitos e Definições; Aplicações; Planejamento de Processos e CAPP.

2.1 INDÚSTRIA 4.0 – CONCEITOS E TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Também conhecido como a quarta Revolução Industrial, o termo indústria 4.0, surgiu na Alemanha em 2011, com o foco de desenvolvimento da tecnologia para a manufatura, onde os ambientes físicos e virtuais se unem (ABREU et al., 2018).

A indústria 4.0 tem um grande potencial, abordando diversos desafios enfrentados pelas indústrias espalhadas pelo mundo. Permite ganhos sucessivos de eficiência, recursos e produtividade, permitindo a consideração de diversas mudanças e fatores. Sistemas inteligentes permitem que os funcionários deixem de realizarem tarefas rotineiras para que eles possam se concentrar em atividades criativas, agregando valor à produção (RÜßMANN et al., 2015).

Existem 9 pilares fundamentais na Indústria 4.0, são eles: Robôs Automatizados; Manufatura Aditiva; Simulação; Integração Horizontal e Vertical de Sistemas; Internet das Coisas; Big Data e Analytics; Nuvem; Segurança Cibernética e Realidade Aumentada (RÜßMANN et al., 2015).

Esses pilares vêm sendo utilizados de diferentes formas na Indústria 4.0, segundo SACOMANO et al. (2018). Algumas aplicações desses pilares na indústria são:

- Logística: com o uso de RFID para mapeamento de peças nos estoques;
- Manutenção: com o uso de softwares de monitoramento;

- Produção das indústrias: com o uso do controle da informação da produção para execução da manufatura, que fornece para cada estágio individual de montagem as informações necessárias.

Segundo ABREU et al. (2018), atualmente o cenário atual presencia uma constante modernização do planejamento, que antecede a aplicação real e uma tecnologia que tem trazido muitos benefícios para as Indústria 4.0 é a simulação, que visa utilizar de forma ampla as informações fornecidas em uma linha de produção, analisando-as em tempo real. O resultado da coleta e análise dessas informações é chamado de Digital Twins, em que toda linha ou processo de produção passa a ter um modelo idêntico só que em um ambiente virtual.

2.2 GÊMEOS DIGITAIS

Com a evolução da tecnologia os processos de fabricação se tornaram cada vez mais digitais, levando muitas empresas a adotarem medidas para acompanhar esse avanço tecnológico. Esse avanço aumentou consideravelmente o volume de informações/dados fornecidos pelas máquinas, forçando as indústrias a desenvolverem métodos para a coleta e análise dessas informações.

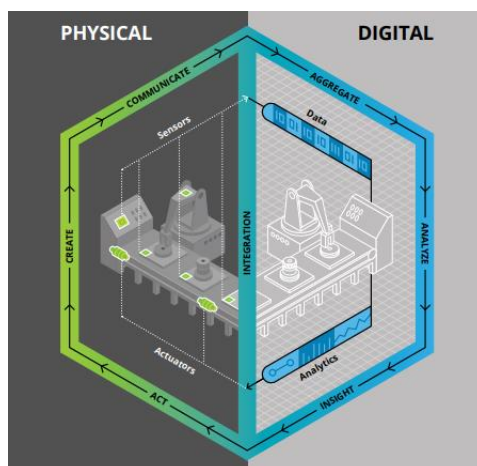
A combinação da coleta de grande volume de informações/dados junto com a sua análise, em tempo real, deu origem ao que chamamos de Digital Twins. O Gêmeo Digital se estabeleceu na indústria, onde está revolucionando os processos em toda a cadeia de valor (SIEMENS, s.d.).

Gêmeos Digitais, segundo PARROTT (2017), podem ser definidos como uma evolução do perfil digital e do atual comportamento de um objeto físico ou processo, que ajuda otimizar o desempenho dos negócios.

Outra definição interessante surgiu em 2010 pela NASA, em uma de suas pesquisas de tecnologia integrada, que foi brevemente adaptada em “Um Gêmeo Digital é uma simulação probabilística, integrada, multifísica e multiescalar de um veículo ou sistema que utiliza os melhores modelos físicos disponíveis, atualizações de sensores, histórico de frotas, etc., para espelhar a vida de seu gêmeo correspondente” (SHAFTO et al., 2010).

A Figura 2 especifica os cinco componentes habilitadores dos Gêmeos Digitais, sendo eles: Sensores, Dados, Integração, Análise e Atuadores.

Figura 2 - Modelo de Gêmeo Digital no Processo de Manufatura



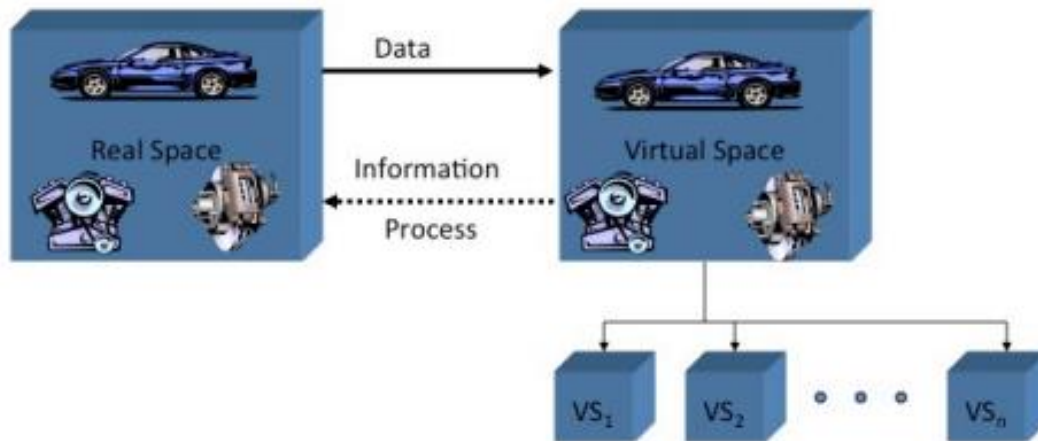
Fonte: PARROTT (2017).

2.2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O conceito básico de Digital Twin, surgiu em 2002, originado por Grieves (2016) em uma representação virtual chamada Product Lifecycle Management (PLM – Gerenciamento do Ciclo de Vida) e se permaneceu estável desde então. A ideia do modelo era que os sistemas eram divididos em um sistema físico que sempre existiu e um sistema virtual com todas as informações do sistema físico. O PLM ou Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto expressa que a representação do modelo não era estática, mas sim um modelo integrado por todo ciclo de vida do sistema. Os sistemas virtuais e reais, de forma conectada, passariam por quatro fases: criação, fabricação, sustentação e descarte (GRIEVES, 2016).

A Figura 3 ilustra a representação feita por Grieves (2016), que possui os elementos de um Gêmeo Digital: Espaço virtual e real, um fluxo de dados do espaço real para o virtual, um fluxo de informações do espaço virtual para o real e para outros subespaços virtuais.

Figura 3 - Conceitual ideal para PLM



Fonte: Grieves (2016).

Isso significava que havia um espelhamento ou gemação de sistemas entre o que existia no espaço real para o que existia no espaço virtual e vice-versa, onde os subespaços virtuais VS₁, VS₂ ... VS_n seriam representações com dados que compõe o espaço virtual (GRIEVES, 2016).

2.2.2 APLICAÇÕES

As Simulações vêm sendo muito utilizados pelas indústrias no contexto 4.0, sendo uma das principais tecnologias habilitadoras do tema, impactando positivamente no planejamento, desenvolvimento e economia de processos de uma indústria ou organização (ABREU et al., 2018).

Gêmeos Digitais são projetados para modelar ativos ou processos complexos, que interagem de várias maneiras com seus ambientes para os quais é difícil prever resultados ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Além disso, podem ser criados em uma vasta variedade de contextos para servir o objetivo que for proposto (PARROTT, 2017).

Modelagem das etapas de fabricação, avaliação de componentes e sistemas de produção complexos são exemplos de aplicação dos Gêmeos Digitais, que possibilitam a otimização de novos projetos, conhecimento amplo de um novo produto, produtividade e eficácia dos processos (WAGNER et al., 2019).

2.3 PLANEJAMENTO DE PROCESSO E CAPP

O planejamento de processo na Indústria 4.0 é um assunto avançado, que está presente em todas as etapas de forma direta nos processos de fabricação. Ele possibilita a geração de um plano de ação

automatizado com base em análises de Big Data que requerem a utilização de dados armazenados dentro do produto, ferramenta ou máquina (TRSTENJAK, 2020).

Segundo Scallan (2003), planejamento de processos pode ser definido como a seleção e sequenciamento de processos e operações para transformar uma matéria-prima em um produto acabado. Isto significa desenvolver instruções de trabalho detalhados para a produção de um componente.

Trata-se de um elo essencial entre o design e fabricação, o planejamento de processos determina os processos de fabricação, suas sequências e as condições para converter um projeto em um elemento físico, econômico e competitivo (AL-WSWASI, M., 2018).

Deve ser adquirido habilidades e conhecimentos para a execução de um planejamento de processo efetivo, segundo Scallan (2003). Sendo eles:

- Capacidade de interpretar desenhos técnicos;
- Conhecimento do material utilizado na manufatura;
- Conhecimento dos processos de fabricação;
- Conhecimento de gabaritos e acessórios;
- Habilidade de utilizar materiais de referência dos fabricantes;
- Conhecimento dos custos de cada material, ferramenta e processo;
- Capacidade de calcular parâmetros de manufatura e seus custos;
- Conhecimento de procedimentos e especificações de inspeções / controle de qualidade.

Existem ferramentas computacionais importantes que auxiliam na digitalização do planejamento de processos. O uso do software CAD (*Computer-Aided Design*) permite a manipulação digital de desenhos técnicos além de facilitar a acessibilidade das informações. O uso do software CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) permite a simulação de processos, controle de ferramentas das máquinas e assistência operacional (TRSTENJAK, 2020).

A junção dessas duas ferramentas é realizada no CAPP (*Computer-Aided Process Planning*, no português, Planejamento de Processos auxiliados por computador), contendo uma lista de operações, sequenciamento e máquinas-ferramentas voltadas ao regime do processo produtivo (AL-WSWASI, 2018).

Existem três tipos de CAPP, segundo Trstenjak (2020), são eles:

- Variante:

Se baseia na utilização de processos de fabricação parecidos ou idênticos para a produção de algo novo. Isso requer um banco de dados bem desenvolvido, algoritmos de reconhecimento de recursos e apropriação de planos de processo;

- Generativo:

Se baseia em decisões de processamento únicas, sintetizando as informações do processo, com o objetivo de criar um componente novo de forma automática e com pouca intervenção humana. A decisão lógica e sistemas avançados são fundamentais nessa abordagem, em termos de Gêmeos Digitais na I4.0, podem ser estendidas para permitir planos automáticos de simulações e reconhecimento preciso dos recursos geométricos;

- Híbrido:

Se baseia na combinação da Variante e Generativo, onde o produto passa pelo banco de dados de reconhecimento que contém todas as possibilidades para a sua fabricação.

3 METODOLOGIA

Para o presente trabalho foi adotada a seguinte classificação metodológica:

- Com relação à natureza da pesquisa, trata-se de uma Pesquisa Aplicada, pois por meio de estudos em livros e artigos será possível comprovar resultados e defender o objetivo do trabalho;
- Com relação à abordagem, tem o caráter Qualitativo, pois o trabalho parte de percepções identificadas nas literaturas utilizadas para o seu desenvolvimento, expressando minha observação e conclusão com relação ao tema estudado;
- Com relação aos objetivos, a pesquisa tem Abordagem Exploratória pois busca-se compreender melhor os usos dos GDs nas atividades de PP no contexto da I4.0;
- Com relação ao método adotado, o trabalho é Teórico-Conceitual, pois visa estabelecer usos dos GDs no PP a partir de pesquisa bibliográfica e proposição conceitual;
- Com relação à técnica de coleta de dados adotada, trata-se de uma Pesquisa Bibliográfica pois, trata-se de uma leitura, análise e interpretação de diversos materiais para o seu desenvolvimento.

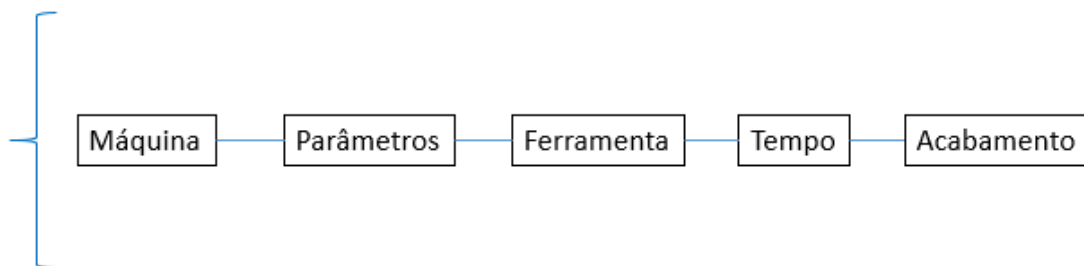
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho refere-se a estrutura de um Gêmeo Digital de planejamento de processos cuja a tomada de decisões seja realizada de forma automática, realimentando o Gêmeo Digital com os resultados obtidos pelo ambiente produtivo. Essa realimentação possibilitará o planejamento do processo de fabricação de forma inteligente e otimizada, sem que ocorra interrupções no ambiente produtivo.

O processo se inicia com a definição dos parâmetros essenciais do plano de fabricação, como a velocidade da máquina, profundidade de corte, avanço e etc. Além do tempo que leva o processo de fabricação do produto.

A Figura 4 representa um esquema das variáveis analisadas durante o processo.

Figura 4 - Variáveis do Processo



O GD receberá essas informações e também outras, referente ao estoque de ferramentas disponíveis, às condições da ferramenta que está sendo utilizada durante o processo e o ciclo de vida dessa ferramenta (vida útil).

Em seguida, o GD deverá ainda receber as informações referente a quantidade de máquinas disponíveis para realização do processo.

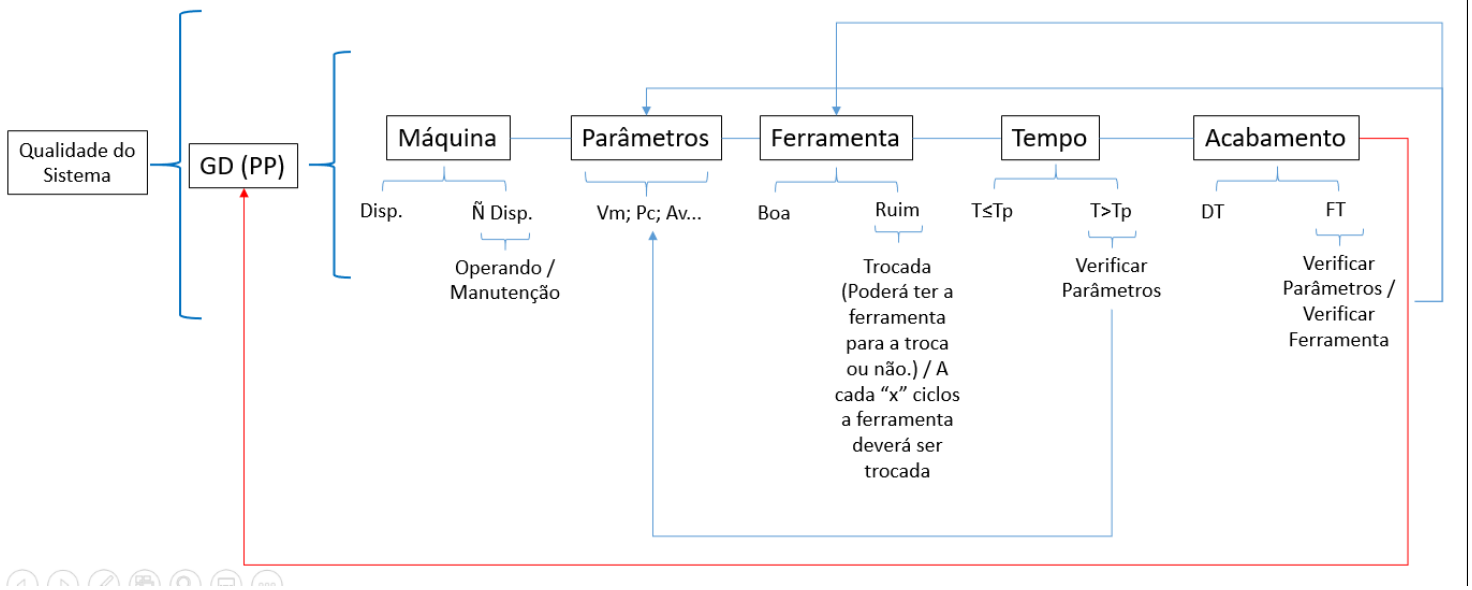
Esses parâmetros, tempo, ferramentas e máquinas, depois de analisados e definidos, serão inseridos no GD para que ele tenha conhecimento do que deve ser respeitado.

Quando o processo de fabricação se inicia o GD irá analisar a disponibilidade de máquinas e ferramentas, as condições de trabalho das ferramentas, os parâmetros que estão configurados, além do acabamento da peça após sua fabricação.

Dependendo da condição de acabamento da peça e disponibilidade de máquinas e ferramenta o GD tomará sua decisão de alterar ou não o Plano de Processo, analisando qual estação de trabalho está disponível, se as ferramentas estão em boas condições, os parâmetros configurados, além da análise do acabamento da peça, para que o processo não sofra interrupções e que as correções sejam aplicadas de forma efetiva.

A figura 5 ilustra as realimentações realizadas durante o processo de fabricação.

Figura 5 - Realimentações do Processo



Considerando uma fábrica que trabalhará com 3 máquinas (M1...M3), 3 ferramentas gêmeas (F1a,F1b,F1c...F3a,F3b,F3c), Parâmetros (Pr), Tempo padrão do processo de fabricação (Tp) e Acabamento (Ac), o GD analisará a fábrica da seguinte forma:

Máquinas de M1 até M3 – Disponíveis (Disp) ou Não Disponíveis (Ñ Disp);

Ferramentas de F1a,F1b,F1c até F3a,F3b,F3c – “Boa” ou “Ruim”;

Parâmetros – “Ok” ou “Não Ok”

Tempo – $T \leq T_p$ ou $T > T_p$

Acabamento – “Dentro da Tolerância” (Dt) ou “Fora da Tolerância” (Ft)

Com a estrutura formada e o Gêmeo Digital configurado, considerando que a fábrica iniciará seu trabalho a partir dessas definições e configurações, um processo de fabricação se inicia.

Para melhor entendimento das tomadas de decisão, referente ao planejamento do processo, divide-se a estrutura do GD em dois casos: 1 - Plano de Processo baseado na disponibilidade de máquinas e vida útil de ferramenta; e 2 - Plano de Processo baseado no acabamento da peça, analisando os parâmetros e o Tempo do Processo. Além da divisão em dois casos, cada caso foi dividido em três cenários.

1- Plano de Processo baseado na disponibilidade de máquinas e vida útil de ferramenta

- Cenário 1:

Considerando uma peça P1, que será produzida nessa fábrica, ele terá o seguinte comportamento:

Se Pr = “Ok”,

Então:

Se M1 = “Disp”, F1a = “Boa”,

Então:

$M1 \leq P1$.

Se $Ac = "Dt"$, $T \leq Tp$,

Então:

$GD \leq AC = "Dt"$;

"P1 executada com sucesso".

- Cenário 2:

Considerando a ferramenta F1a inoperante, com sua vida útil atingida ("Ruim"):

Se $Pr = "Ok"$,

Então:

Se $M1 = "Disp"$, $F1a = "Ruim"$,

Então:

$M1 \leq F1b$,

$M1 \leq P1$.

Se $Ac = "Dt"$, $T \leq Tp$,

Então:

$GD \leq AC = "Dt"$;

"P1 executada com sucesso".

Nesse caso o GD irá verificar o estoque da produção para ver se existe uma ferramenta para substituir a F1a. Caso não exista a ferramenta F1a a M1 irá operar apenas com F1b e F1c, até que a ferramenta F1a seja substituída.

- Cenário 3:

Nesse caso a M1 estará operando, e uma peça P2 entrará em produção. Como a M1 está operando seu status será "Ñ Disp".

Considerando M1 operando e uma nova peça entrando em produção:

Se $Pr = "Ok"$,

Então:

Se $M1 = "Ñ Disp"$,

Então:

$M2 = F2a$,

$M2 \leq P2$.

Se $Ac = "Dt"$, $T \leq Tp$,

Então:

$GD \leq AC = "Dt"$;

“P2 executada com sucesso”.

2- Plano de Processo baseado no acabamento da peça, analisando os parâmetros e o Tempo do Processo

- Cenário 1:

Se $Pr = "Ok"$,

Então:

Se $M1 = "Disp"$,

Então $M1 \leq F1a$,

$M1 \leq P1$.

Se $Ac = "Ft"$, $T \leq Tp$,

Então:

$GD \leq AC = "Ft"$;

- Cenário 2:

Se $Pr = "Ok"$,

Então:

Se $M1 = "Disp"$,

Então $M1 \leq F1a$,

$M1 \leq P1$.

Se $Ac = "Dt"$, $T > Tp$,

Então:

$GD \leq Tp = "T > Tp"$;

- Cenário 3:

Se $Pr = "Não Ok"$,

Então:

$GD \leq Pr = "Não Ok"$;

O GD deverá verificar e corrigir os parâmetros gerando um novo plano de processo. Se após o novo plano a peça for fabricada dentro dos parâmetros permitidos e do tempo padrão, o GD recebe essa informação e o planejamento do processo continua para a fabricação de novas peças.

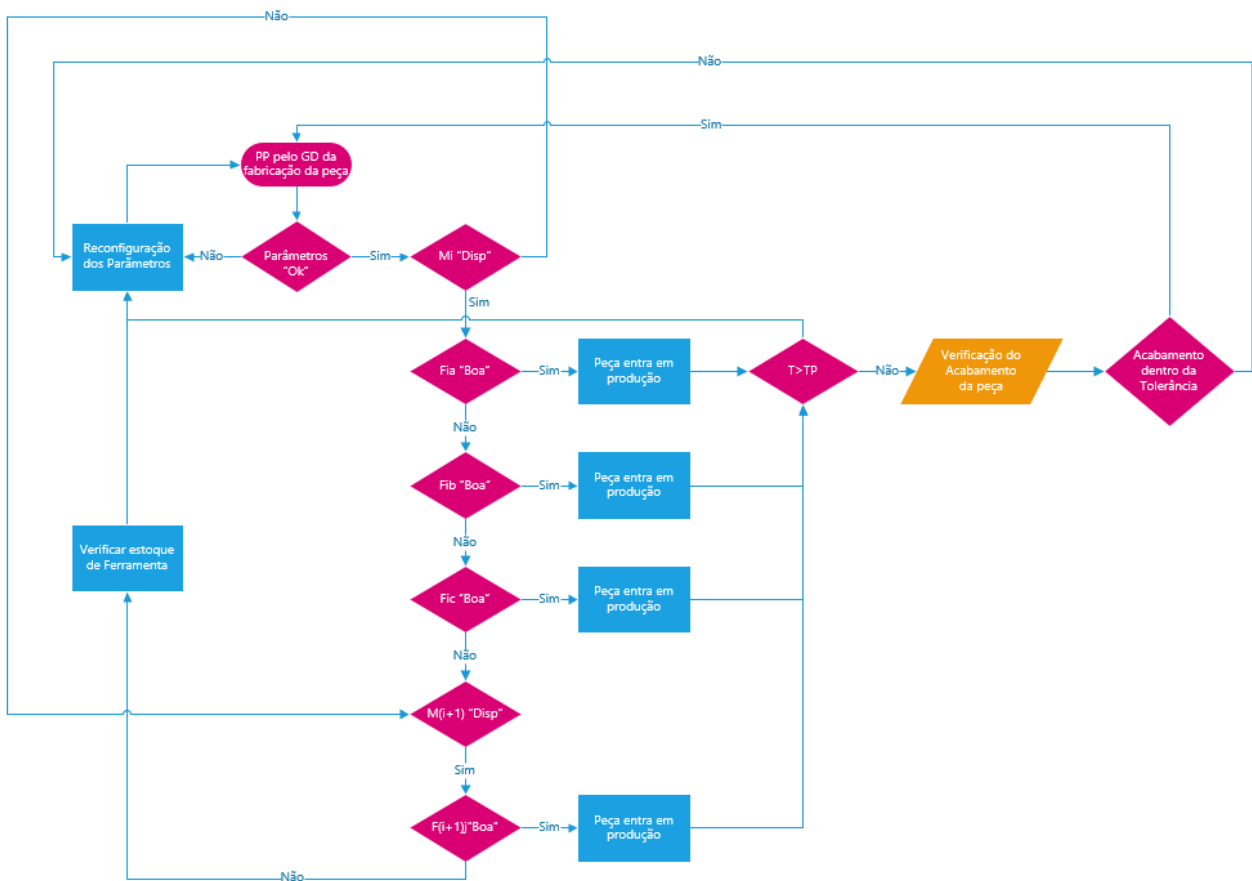
O GD gera um novo plano de processo quando a peça termina de ser produzida. O GD receberá a informação do acabamento da peça e irá decidir se o plano de processo está aceitável ou não. Se o plano estiver aceitável o plano definido será mantido, se não o GD irá elaborar um novo plano para que a peça seja fabricada com sucesso.

Quando a primeira peça é fabricada com sucesso, todos os parâmetros e variáveis serão armazenados pelo GD, então o processo não irá sofrer alterações e o processo continua. Se no decorrer do processo uma peça é fabricada com um acabamento fora da tolerância (ft) o GD irá verificar quais parâmetros e variáveis deverão ser alterados e elaborar um novo plano de processo.

O desempenho do GD será avaliado de acordo com o volume de peças fabricadas com o acabamento dentro da tolerância. Se volume de peças fabricadas forem maior ou iguais ao estimado, o GD está trabalhando corretamente. Se o volume de peças fabricadas for menor do que o estimado o GD deverá ser analisado, verificando se os parâmetros estão configurados corretamente e as informações referente ao chão de fábrica estão de encontro com o GD.

De forma genérica, o GD irá funcionar conforme o fluxograma da Figura 7.

Figura 6 - Fluxograma do GD



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contempla a proposta de arquitetura de um GD planejando um processo de fabricação com base nas informações adquiridas no ambiente produtivo em tempo real. O trabalho foi baseado em uma linha de produção enxuta, com poucas máquinas e ferramentas gêmeas em cada máquina, funcionando dentro do conceito de Indústria 4.0.

A proposta mostrou-se conceitualmente viável e representa a ideia de um CAPP integrado a um GD que recebe informações dos processos em tempo real e promove a revisão das informações do Planejamento do Processo reaplicando-a à produção de forma imediata.

Como sugestões para trabalhos futuros, ficam indicados a ideia é expandir o volume de máquinas, a possibilidade de operar com ferramentas distintas, atingindo um volume maior de indústrias, e a elaboração de um sistema computadorizado baseado na proposta ora apresentada.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. E. M. et al. Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 12, n. 12, p. 49–53, 2018

AL-WSWASI, M.; IVANOV, A.; MAKATSORIS, H. A survey on smart automated computer-aided process planning (ACAPP) techniques (2018). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97:809–832.

GRIEVES, M.; VICKERS, J. Origins of the Digital Twin Concept, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>. DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609. Acesso em: 16 de Novembro de 2021.

KRITZINGER, W.; KARNER, M.; TRAAR, G.; HENJES, J.; SIHN, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification (2018). *IFAC Papers Online: 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018*: Bergamo, Italy, June 2018

PARROTT, A.; WARSHAW, L. Industry 4.0 and the digital twin. In: Deloitte University Press. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–17. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-digital-twin-technology-en-171215.pdf>. Acesso em 17 de Novembro de 2021.

RIBEIRO, D.R.S.; WERNER, S.M.; FORCELLINI, F.A.; PEREIRA, M. Project-Based Learning's Model for Teaching Process Planning through the Toyota Kata Approach. *Journal of Lean Systems*, 2020, Vol. 5, Nº 2, pp. 19-37.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0 - Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. (2015). Disponível em: https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; BONILLA, Sílvia Helena; SILVA, Márcia Terra da; SÁTYRO, Walter Cardoso. *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018. 169 p.

SCALLAN, P. *Process Planning: The Design/Manufacture Interface*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. 469 p. Disponível em: *Process Planning: The Design/Manufacture Interface - Peter Scallan - Google Livros*. Acesso em 17 de Novembro de 2021.

SCHWAB, K.M. *A quarta revolução industrial*. (D.M.Miranda, Trad.). São Paulo: Edipro, 2016. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/A_Quarta_Revolu%C3%A7%C3%A3o_Industrial/XZSWDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&printsec=frontcover. Acesso em 16 de Novembro de 2021.

SHAFTO, M.; CONROY, M.; DOYLE, R.; GLAESSGEN, E.; KEMP, C.; LEMOIGNE, J.; WANG, L. *Draft modeling, simulation, information technology & processing roadmap*. Technology Area, National Aeronautics and Space Administration, v. 11, 2010.

SIEMENS. *Como os Gêmeos Digitais impactam positivamente seu negócio* (s.d.). Disponível em: <https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/tecnologia/gemeos-digitais-negocios.html>. Acesso em 16 de Novembro de 2021.

TRSTENJAK, M.; CAJNER, T.; TOSANOVIC N. *Process Planning in Industry 4.0: Current State, Potential and Management of Transformation* (2020). *MDPI – Sustainability*. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/5878>. Acesso em 30 de Setembro de 2021.

WAGNER, R.; SCHLEICH, B.; HAEFNER, B.; KUHNLE, A.; WARTZACK, S.; LANZA, G. Challenges and Potentials of Digital Twins and Industry 4.0 in Product Design and Production for High Performance Products (2019). Procedia CIRP: 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos devem ser dirigidos aos profissionais e instituições que efetivamente colaboraram para o desenvolvimento do trabalho. Não cabem agradecimentos ao orientador, já que é um dos autores do trabalho.

Esta seção não é obrigatória.

O texto deve ser redigido em fonte Times New Roman 12, espaçamento de entrelinha 1.5 e com recuo de 1,25 no início dos parágrafos. Não devem ser acrescentados espaços extras entre os parágrafos.

O título desta seção deve ser centralizado e grafado em negrito e letras maiúsculas. Para títulos não numerados das seções primárias, use fonte TNR, tamanho 12, negrito, letras maiúsculas, alinhamento centralizado, conforme adotado neste *template*. O título deve ser separado antes e depois dos textos por um espaço de 6 pontos.