



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Bruno Miguel Moital Curado

**Customização de indicadores de performance em  
sistemas de planeamento e controlo da produção**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins

Outubro de 2017



## DECLARAÇÃO

Nome: Bruno Miguel Moital Curado

Endereço eletrónico: brunomiguelmc@hotmail.com      Telefone: 912109794

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 13971309

Título da dissertação: Customização de indicadores de performance em sistemas de planeamento e controlo da produção

Orientador:

Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia de Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:



## AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins, pelas sugestões e oportunidade de realização deste trabalho.

Aos colegas da GenSYS, por toda a disponibilidade e empatia transmitida.

Ao pai e à mãe por me proporcionarem sempre as melhores condições, pela fonte de motivação constante e principalmente por terem sempre acreditado em mim ao longo deste percurso académico.

Ao irmão pela amizade, interesse e motivação.

À Carolina Batista pela amizade, companheirismo, motivação e boa disposição contagiante.

Aos amigos e colegas de mestrado Bárbara Peixoto e João Gonçalves, pela amizade e por conseguirem sempre tirar o melhor de mim.

Aos amigos Daniel Barral, Eduardo Fortunato, João Correia, João Pimentel, Luís Oliveira, Rodrigo Pinto, Rui Pimentel e Tiago Mendes pela motivação constante e amizade.



## RESUMO

A customização em massa tem-se revelado como um paradigma cada vez mais frequente entre as organizações da indústria transformadora. A mudança de papel negocial dos clientes motiva muitas organizações a oferecer produtos customizados, com níveis de performance idênticos aos que obtinham com a produção em massa.

Um dos principais requisitos para se implementar uma customização em massa é um sistema informático para o planeamento e controlo da produção. Estes sistemas têm vindo a providenciar às organizações dados sobre tudo o que ocorre, em tempo real, no chão de fábrica, ganhando relevância à medida que as organizações aumentam a diversidade dos artigos com que têm que lidar. A informação armazenada por este tipo de sistemas fornece informação para o processo de tomada de decisão de uma organização, podendo esta ser tratada sob a forma de indicadores de desempenho que auxiliem os processos das várias funções organizacionais.

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial na empresa GenSYS, que criou um sistema informático para o planeamento e controlo da produção, onde cada cliente não tem a possibilidade de obter indicadores no instante em que estes são realmente precisos devido ao tempo tradicional de desenvolvimento. O principal objetivo desta dissertação é a criação de um modelo de customização de indicadores, por parte dos clientes, com base em dados existentes no sistema GenSYS.

Para além da formulação do modelo é também proposto um *front-end* para o sistema de interface com o utilizador, assim como as funcionalidades que este deve permitir ao utilizador realizar.

Foram também identificados e analisados alguns indicadores de desempenho, passíveis de obter pelo modelo proposto, com o objetivo de mostrar as vantagens que um sistema que integra funcionalidades de um sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP), de um *Manufacturing Execution System* (MES) e de um sistema *Advanced Planning and Scheduling* (APS) pode proporcionar às organizações com ambiente de grande diversidade de artigos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Customização em massa, Sistema de planeamento e controlo da produção, KPI, Customização de indicadores de performance





## ABSTRACT

Mass customization has emerged as an increasingly frequent paradigm among manufacturing organizations. Changing the business role of customers motivates many organizations to offer customized products with performance levels identical to those they get with mass production. One of the main requirements for implementing mass customization is a computer system for planning and controlling production. These systems have been supporting organizations with data on everything that occurs in real time on the shop floor, gaining relevance as organizations increase the diversity of the products they have to deal with. The information stored by this type of system provides information for the decision-making process of an organization and can be treated in the form of performance indicators that support the processes of the various organizational functions.

The present dissertation was carried out in a business environment at the company GenSYS, which created a computer system for production planning and control, where each customer does not have the possibility to get indicators when they are really needed due to the traditional development time. The main objective of this dissertation is the creation of a model of customization of indicators by the clients, based on existing data in the GenSYS system.

In addition to the formulation of the model, a front-end for the user interface system is proposed, as well as the functionalities that it should allow the user to perform.

Furthermore, some performance indicators (that can be obtained by the proposed model) were also identified and analyzed, in order to show the advantages that a system that integrates features of an Enterprise Resource Planning (ERP) system, a Manufacturing Execution System (MES) and an Advanced Planning and Scheduling (APS) system can provide to organizations with an environment of great diversity of products.

**KEYWORDS:** Mass customization, System for production planning and control, KPI, Performance indicators customization



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract .....	ix
Lista de Figuras .....	xv
Lista de Tabelas.....	xvii
Lista de siglas e acrónimos.....	xix
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da dissertação .....	4
2. Revisão da literatura .....	5
2.1 Paradigma de produção em massa.....	5
2.2 Paradigma de customização em massa.....	6
2.2.1 Características da customização em massa .....	7
2.2.2 Requisitos organizacionais.....	8
2.2.3 Metodologias para uma implementação efetiva.....	9
2.3 Sistemas de informação para a customização em massa.....	12
2.3.1 Sistema de planeamento e controlo da produção .....	12
2.3.2 Tipos de sistemas de informação para a produção.....	14
2.3.3 Comunicação entre sistemas informáticos .....	16
2.4 Sistemas de informação e o processo de tomada de decisão.....	17
2.4.1 Avaliação da performance de um sistema produtivo .....	17
2.4.2 <i>Key performance indicators</i> .....	18
3. Módulo de customização de indicadores de desempenho .....	22
3.1 Formulação do modelo .....	22
3.2 Layout do módulo.....	31
3.2.1 <i>Front-end</i> da janela inicial do módulo .....	31
3.2.2 <i>Front-end</i> para a biblioteca de Métricas .....	31
3.2.3 <i>Front-end</i> para o histórico de indicadores.....	32

3.3	Funcionamento do modelo – exemplo.....	33
4.	Indicadores de desempenho através do Gensys .....	40
4.1	Gestão comercial .....	40
4.2	Planeamento da produção.....	41
4.3	Programação da produção .....	43
4.4	Gestão de stocks .....	43
4.5	Gestão da qualidade.....	44
4.6	Gestão da manutenção .....	45
4.7	Monitorização da produção .....	46
5.	Conclusões e trabalhos futuros .....	50
	Bibliografia.....	53



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxo de informação e de materiais em sistemas com produção pull. Adaptado de (Bonney et al., 1999) .....	11
Figura 2 – Fluxos de Informação entre funções organizacionais.....	14
Figura 3 – Front-End inicial do módulo de customização de indicadores.....	31
Figura 4 – Front-End para a funcionalidade de biblioteca de métricas.....	32
Figura 5 – Front-End para a funcionalidade de histórico de indicadores.....	32
Figura 6 – Parametrização da métrica TP .....	35
Figura 7 – Parametrização da métrica QP .....	35
Figura 8 – Parametrização da métrica IFO.....	36
Figura 9 – Parametrização da métrica IIO .....	37
Figura 10 – Parametrização do indicador TRP .....	38
Figura 11 – Criação do indicador TRP .....	38
Figura 12 – Parametrização do indicador de desempenho FD .....	38
Figura 13 – Criação do indicador de desempenho FD .....	39



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela exemplo da entidade “Referências” .....	23
Tabela 2 – Tabela exemplo da entidade “Documentos” .....	24
Tabela 3 – Tabela exemplo da entidade "Movimentos" .....	25
Tabela 4 – Tabela exemplo da entidade "Operações" .....	26
Tabela 5 – Tabela exemplo da entidade "Programação" .....	27
Tabela 6 – Parâmetros para definir uma métrica.....	28
Tabela 7 – Parâmetros para definir um indicador .....	30
Tabela 8 – Entidade “Documentos” exemplo .....	33
Tabela 9 – Entidade “Programação” exemplo .....	34
Tabela 10 – Entidade “Operações” exemplo.....	34





## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

APS - *Advanced Planning and Scheduling*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

GenPIC - Módulo de customização de indicadores

GenSYS - Sistema GenSYS

KB - *Kanban* de Trabalho

KM - *Kanban* de Movimentação

KPI - *Key Performance Indicator*

LE - Linha de Encomenda

MC - *Mass Customization*

MES - *Manufacturing Execution System*

MP - *Mass Production*

OP - Ordem de Produção

PCP - Planeamento e Controlo da Produção

PDP - Planeamento Diretor de Produção

UML - *Unified Modelling Language*

WIP - *Work in Process*



# 1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi elaborada em ambiente empresarial, na empresa GenSYS, uma empresa de desenvolvimento de *software* e consultadoria na área da gestão da produção, com recurso a um sistema informático para o planeamento e controlo da produção para ambientes de grande diversidade de artigos.

Este sistema engloba uma solução que integra funcionalidades normalmente presentes em sistemas ERP, em sistemas APS e em sistemas MES. Dentro das funções de um ERP, o sistema GenSYS faz planeamento diretor de produção, planeamento de necessidade de materiais e capacidades, lançamento de ordens de compra e produção, assim como gestão da carteira de encomendas. No contexto das funções tradicionalmente atribuídas a um APS, faz programação detalhada da produção com base no paradigma de produção *pull* e *kanbans* eletrónicos. No contexto dos MES, o sistema faz uma monitorização de todos os elementos de um *shop-floor* (homens, máquinas), assim como armazéns/supermercados onde se situem matérias-primas, semiacabados ou produtos finais.

Através de terminais *cyber-físicos* distribuídos pelo *shop-floor*, colaboradores que participem diretamente no processo produtivo registam o início e fim de cada operação, correspondendo ao tempo de execução de um *kanban* de trabalho (KB). Os operadores logísticos (*milkruns*) e responsáveis pelos armazéns podem igualmente ter um terminal associado, tornando a operação de separar/carregar material, dar entrada em *stock* ou iniciar/terminar uma movimentação operações rastreáveis, podendo haver controlo sob as mesmas através da existência de *kanbans* de movimentação (KM).

A informação armazenada no sistema nas diferentes áreas funcionais do planeamento e controlo da produção é muita e de grande diversidade. Atualmente as organizações recorrem a métricas e indicadores de desempenho que as ajudam a identificar, de forma fácil e rápida, problemas e oportunidades de melhoria existentes.

Como cada organização tem os seus próprios indicadores, e respetivas fórmulas de cálculo, um sistema que permita a sua customização tem vantagens para a empresa que utiliza o sistema e para a *software house*. A primeira tem a possibilidade de adequar o funcionamento e a obtenção de indicadores às suas necessidades, de forma rápida, sem ter que esperar o tempo tradicional de desenvolvimento. Por sua vez, para a empresa que desenvolve *software*, a criação de um sistema de customização implica apenas um esforço adicional de desenvolvimento de sistema, evitando edições personalizadas e reduzindo o esforço da gestão de versões.

## 1.1 Enquadramento

A existência de leis impedoras do fornecimento de bens ou serviços a entidades exteriores a um país, levou a que os mercados nacionais fossem, durante vários anos, maioritariamente abastecidos por organizações internas, ou seja, geograficamente dentro do país.

Atualmente, os governos dos países desenvolvidos ganharam consciência do quão relevante são as exportações para o aumento do produto interno bruto nacional (Harrison & Petty, 2002). As exportações permitiram às organizações gerar mais receitas, alavancando a economia através da captação e retenção de clientes fora da esfera nacional. Tomando o exemplo do Reino Unido, é notório que a riqueza gerada pelos países desenvolvidos está crucialmente dependente da habilidade da indústria transformadora ser competitiva (Harrison & Petty, 2002) .

A liberalização do mercado, consequência da globalização, permite que atualmente as organizações possam competir em mercados que outrora eram dominados por um número limitado de organizações (Forza & Salvador, 2006). Tal mecanismo leva a uma pressão para que existam hoje preços mais baixos e tempos de entrega mais competitivos. As organizações, antes protegidas por regulamentações rigorosas, são hoje encorajadas a diferenciar a sua oferta de forma a conseguirem superar os concorrentes (Forza & Salvador, 2006).

As tecnologias de informação e comunicação ampliaram a perceção dos clientes perante o mercado. Para se manterem competitivas, as organizações focam-se na produção de uma grande diversidade de artigos para clientes dentro e fora do país, aumentando a complexidade da gestão de operações desde a criação de encomendas até ao abastecimento dos clientes. Tais problemas levam à necessidade de sistemas para o planeamento e controlo da produção eficientes, que consigam lidar com necessidades dos mais diversos artigos, em quantidades e instantes temporais variáveis. Tais sistemas devem conseguir planear, programar e controlar a produção mapeando, em tempo real, todos os elementos que participem ativamente no processo produtivo.

Através de indicadores de desempenho deve ser possível obter informação, de forma rápida e eficiente, sobre o estado das diferentes entidades e dos resultados dos processos a elas associadas, no contexto dos sistemas de planeamento e controlo da produção.

## 1.2 Objetivos

Este projeto pretende dar resposta a uma necessidade que a empresa GenSYS tem, nomeadamente no esforço necessário à programação de algoritmos para obtenção de indicadores de desempenho.

Duas das principais motivações para este projeto prendem-se com a inexistência de formas mais rápidas e eficientes para mostrar às organizações as vantagens que a utilização do sistema GenSYS pode representar e, por outro lado, disponibilizar às organizações um conjunto de funcionalidades que lhes permite gerar os seus próprios indicadores, a partir de informação que está disponível no sistema, sem terem que recorrer aos serviços de desenvolvimento da *software house*.

Assim, esta dissertação tem como principal objetivo a criação e documentação de um modelo que permita aos clientes da GenSYS a parametrização de indicadores de desempenho e, numa fase posterior, a sua implementação no sistema.

O modelo deve estar implementado num sistema de interface com o utilizador que permita a definição de como este quer que a informação esteja organizada e disponível, a criação de novas métricas e a gestão das métricas já criadas. As funções que este sistema deve ter são:

- Extrair informação dos restantes módulos do GenSYS.
- Tratar tais dados através do modelo.
- Mostrar os valores dos indicadores de desempenho criados pelo utilizador.
- Tornar possível associar valores alvo a cada indicador, para que o utilizador consiga rapidamente perceber se um indicador está acima ou abaixo do esperado.

Para conseguir alcançar o objetivo proposto foram definidas as seguintes etapas:

- Compreender a evolução das organizações e dos paradigmas de produção industrial, com o intuito de perceber alguns fundamentos do sistema e definir o foco da GenSYS.
- Identificar e compreender as funcionalidades dos sistemas informáticos existentes para o planeamento e controlo da produção, para melhor caracterizar as funções que o GenSYS consegue realizar e que dados podem resultar de cada uma delas.
- Aprofundar o conceito de métrica e de indicador de performance, com especial foco no planeamento e controlo da produção, para ajudar na formulação de um modelo para a customização de indicadores.

- Identificar e analisar indicadores de desempenho existentes na literatura, propondo uma solução para a sua obtenção através do modelo apresentado, com o objetivo de mostrar alguns benefícios que a integração de dados (tipicamente armazenados em ferramentas informáticas distintas) podem proporcionar às organizações, com grande diversidade de artigos, através de uma única fonte de informação.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Com o intuito de atingir todos os objetivos propostos, o presente documento é dividido em cinco capítulos.

Depois desta introdução, no segundo capítulo está uma revisão do estado da arte, onde estão descritas as características da produção em massa e da customização em massa. O foco maior é dado à customização em massa onde estão descritos os requisitos organizacionais e metodologias usadas pelas organizações que contenham grande diversidade de artigos. Estão também caracterizados alguns dos tipos de sistemas informáticos existentes, assim como as funções que estes tipicamente realizam, na ótica do planeamento e controlo da produção.

Para além disso, é realizada uma descrição dos conceitos de métrica e indicador de desempenho, passíveis de obter através de dados dos sistemas identificados, no processo de tomada de decisão de uma organização, ou seja, a capacidade de escolher a melhor opção dentro de um conjunto de possíveis escolhas.

No terceiro capítulo é apresentada a formulação de um modelo para a customização de indicadores de desempenho. É também apresentado um modelo conceptual para um módulo que contenha o modelo formulado, ilustrado o sistema de interface com o utilizador, e expostas algumas das suas funções com o apoio de um exemplo.

No quarto capítulo são identificados e analisados alguns indicadores de desempenho que podem ser retirados através do GenSYS, com base nas funções organizacionais identificadas no capítulo 2.

Por último, no quinto capítulo encontram-se algumas conclusões e propostas para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre temas relacionados com a customização em massa, sistemas informáticos para o planeamento e controlo da produção e indicadores de desempenho, entre outros assuntos considerados como relevantes para a concretização das etapas propostas.

Em primeiro lugar é realizada uma caracterização da produção em massa e da customização em massa, onde é mais aprofundado o segundo conceito através da identificação dos requisitos necessários e metodologias usadas para uma implementação bem-sucedida deste paradigma. Em seguida, são abordados os sistemas de informação que apoiam a customização em massa, onde são descritas as funções de um sistema para o planeamento e controlo da produção, assim como os tipos de sistemas informáticos que tipicamente as executam. Por último, é definido o papel dos sistemas informáticos em processos de tomada de decisão de uma organização, mais concretamente de um gestor da produção, onde são definidos os conceitos de métrica e *key performance indicator*.

### 2.1 Paradigma de produção em massa

Uma organização/empresa pode ser vista como um sistema, ou seja, um grupo de elementos interdependentes ou com interações regulares, o qual pode ser analisado como um todo (Arnold & Wade, 2015). Um dos elementos físicos deste sistema, na indústria transformadora, é o *shop-floor*. Este tem como função a produção de artigos através da transformação de matérias-primas em produtos acabados para venda (Harrison & Petty, 2002), sendo composto pelos subelementos máquinas, homens e materiais. Tradicionalmente o *shop-floor* é suportado por um conjunto de outros elementos físicos ou departamentos funcionais. (Harrison & Petty, 2002).

No passado, as organizações detentoras da totalidade ou grande parte de quota de um segmento de mercado, por falta de concorrência influente, conseguiam reter clientes sem que para isso tivessem de diversificar a oferta produtiva. Neste sentido, estas lidavam com uma gama de produtos reduzida e a produção era feita em grande escala (Eastwood, 1996). Esta metodologia permitia obter baixos custos de produção ao tirar partido das economias de escala, devido à estandardização de produtos e processos (Eastwood, 1996). Este paradigma produtivo é caracterizado como produção em massa (*mass production*).



Os fornecedores tinham maior poder negocial que os clientes, estabelecendo os preços do mercado, conseguindo-lhes impor o que comprar (Blecker, Friedrich, Kaluza, Abdelkafi, & Kreutler, 2005) .

### **Produção empurrada**

Associada à produção em massa surgiu um paradigma de gestão denominado por produção empurrada (*push production*). Num sistema produtivo *push*, após o primeiro trabalho de um lote ter sido executado, este entra na fila do posto subsequente da rota de programação sem que haja qualquer restrição na movimentação entre os postos. Este processo é repetido até que todos os trabalhos necessários tenham sido realizados, saindo o lote do Sistema (Silva, 2015).

Numa outra ótica, pode-se dizer que uma máquina a montante da rota de programação de um lote inicia cada trabalho da programação sem esperar uma solicitação da máquina imediatamente a jusante (Bonney, Zongmao, Head, Tien, & Barson, 1999).

Um dos aspetos caracterizadores deste paradigma produtivo é o facto dos produtos estarem sempre disponíveis, existindo a possibilidade de constituírem *stocks* dentro das organizações (Eastwood, 1996). A razão principal do sucesso da *mass production* (MP) é a estabilidade da procura, não sendo requerida diferenciação de produtos por parte dos clientes ao longo do tempo (Blecker & Friederich, 2006).

## **2.2 Paradigma de customização em massa**

Atualmente, a abundância de informação disponível sobre produtos, intensificada pelo uso de novas tecnologias de comunicação, permite aos clientes avaliar se um determinado produto tem todos os requisitos pretendidos (Forza & Salvador, 2006). Estar consciente das diversas alternativas faz com que estes estejam menos dispostos a comprar um produto que não satisfaça completamente as suas necessidades (Forza & Salvador, 2006).

A existência de uma procura cada vez mais diversificada e consequente pressão do mercado levou a que as organizações, anteriormente com filosofia MP, tivessem que alterar o seu modelo de negócio por forma a se manterem competitivas. A incapacidade destas prevalecerem em alguns segmentos de mercado levou à alternativa de customização numa escala massiva (Blecker & Friederich, 2006). Esta mudança foi motivada pela possibilidade de expansão do volume de negócios e da existência de similaridades entre produtos finais (Blecker & Friederich, 2006).

As empresas que funcionam com paradigma de MP já não conseguem dar resposta a vários segmentos de mercado devido à mudança de papel negocial dos clientes, notando-se uma crescente competição interorganizacional. Esta mudança motivou muitas organizações a focarem-se, cada vez mais, em disponibilizar produtos únicos e de acordo com requisitos específicos de cada cliente.

### 2.2.1 Características da customização em massa

Este paradigma produtivo denomina-se como customização em massa (*mass customization*) e tem como principal objetivo disponibilizar no mercado produtos customizados, de forma rápida em grandes quantidades (Hart, 1995). Outro objetivo passa por tornar possível que a maior parte dos clientes consiga obter estes mesmos produtos a um preço razoável (Wang, Zhang, Sun, & Zhu, 2016). Estes são os dois grandes desafios da *mass customization* (MC): o tempo e o custo (Eastwood, 1996).

Quanto maior a instabilidade de um mercado, maior a probabilidade de uma organização estar a ir em direção da MC, pelo que estas devem adaptar o seu modelo de negócio para permanecerem competitivas (Blecker & Friederich, 2006). Frequentemente as organizações que tentam implementar este paradigma encontram alguns problemas para uma concretização efetiva do mesmo.

#### **Problemas de um ambiente com grande diversidade de artigos**

Em organizações com MC a chegada de encomendas dos clientes é altamente imprevisível e variada, resultando em distúrbios tais como necessidade de ordens de emergência ou alterações no âmbito da engenharia dos produtos (Zhong, Dai, Qu, Hu, & Huang, 2012).

Nestes ambientes, como uma parte considerável dos componentes de produtos finais pode ser único, fica difícil estimar tempos de ciclo e *setup* correspondentes (Zhong et al., 2012). A medição de tempos de ciclo é muitas vezes realizada de forma manual, com o auxílio de cronómetros e câmaras de vídeo (Arkan & Landeghem, 2013). Em ambientes complexos de produção este tipo de metodologias não é preciso o suficiente, exigindo demasiado tempo para ser usado numa base regular (Arkan & Landeghem, 2013).

É também comum haver divergências entre os responsáveis pelo planeamento (a médio prazo) e os responsáveis pela alocação e sequenciação (programação). Os primeiros têm como principal objetivo entregar as encomendas atempadamente, enquanto os segundos pretendem maximizar a utilização dos recursos e produtividade correspondente (Li & Ierapetritou, 2009).

Tradicionalmente, o problema do planeamento é resolvido em primeiro lugar e define as metas para resolver, numa segunda fase, o problema da alocação e sequenciação. Assim, não existe interação entre os dois níveis da tomada de decisão. Esta estratégia tem várias desvantagens tais como: levar a que decisões tomadas no problema do planeamento se traduzam em objetivos irrealistas para a alocação e sequenciação ou realizar uma previsão de custos errada, tendo em conta o resultado do planeamento e não os detalhes resultantes do problema de programação (Li & Ierapetritou, 2009).

A diversidade existente num ambiente com grande diversidade de artigos pode ainda ter como efeitos secundários atrasos nas encomendas dos clientes, erros logísticos e altos níveis de *work in process* (Zhong et al., 2012).

### 2.2.2 Requisitos organizacionais

Uma das maiores preocupações que uma organização tem quando pretende passar a customizar em massa são os requisitos organizacionais necessários para uma implementação bem-sucedida deste paradigma (Blecker et al., 2005).

Para (Tu, Vonderembse, & Ragu-Nathan 2001), a capacidade de uma organização implementar a MC eficazmente é determinada pela capacidade de produzir diferenciadamente com eficácia de custo, eficácia de volume de produção e capacidade de resposta. A eficácia de custo é a capacidade de uma organização produzir produtos altamente diferenciados sem um aumento de custos significativo. O preço expectável para um produto é normalmente definido pelas organizações que produzem em massa, tendo como resultado os clientes estarem à espera de preços semelhantes. A eficácia de volume é a capacidade de aumentar a variedade de produtos sem diminuir o volume de produção, de maneira a se atingir economias de escala, ou seja, quanto maior o volume de produção menor o custo total de produção médio. A capacidade de resposta pressupõe baixos prazos de entrega aos clientes e uma reorganização rápida dos processos produtivos dentro de um *shop-floor*.

(Blecker et al., 2005) consideram que os três pilares que uma organização que aspire a customizar em massa deve ter são: customização (mecanismo que interaja com os clientes, obtendo informação específica dos seus requisitos), flexibilidade de processos (tecnologia produtiva que consiga produzir os produtos requeridos com a informação obtida da customização) e logística (estágios subsequentes de produção e distribuição de forma a ser possível manter a identificação de cada artigo, expedindo-os para o cliente certo, no tempo certo).

Para (Hu, 2013), a customização em massa é conseguida através de alguns conceitos e tecnologias importantes, incluindo a arquitetura por famílias de produtos, sistemas produtivos reconfiguráveis e atraso na diferenciação permitida.

A arquitetura por famílias de artigos pressupõe uma estratégia para a gestão de informação de artigos, onde certas características são compartilhadas dentro de um conjunto de artigos, com o objetivo de reduzir o esforço computacional inerente a esta função organizacional.

Um sistema produtivo reconfigurável é um sistema projetado para lidar com rápidas mudanças na sua estrutura, sendo possível ajustar a capacidade produtiva e as habilidades dos recursos produtivos, por forma a consecutivamente dar resposta a mudanças imprevistas do mercado.

O atraso na diferenciação é uma estratégia usada para diminuir o “ponto” onde os produtos para venda começam a ganhar características únicas. A crescente diversidade de artigos aumentou significativamente a complexidade de produção em processos de montagem de componentes, levando a que a produção modular tenha ganho especial relevância.

### 2.2.3 Metodologias para uma implementação efetiva

A produção de produtos customizados tem como requisito interligar as especificações do cliente com as atividades operacionais (Forza & Salvador, 2006). Este pode ser um problema para a maior parte das organizações que aspirem à MC, sendo necessário traduzir as especificações do cliente para o produto. Numa segunda fase, a partir da informação do produto deve ser possível obter toda a informação necessária para a gestão de produção e execução das operações necessárias à produção de um artigo customizado.

A customização tem assim dois problemas associados: como processar a informação do produto e como coordenar as atividades operacionais (Forza & Salvador, 2006).

#### **Como processar a informação do produto?**

Para facilitar a tarefa de configuração de produtos, as organizações têm disponibilizado aos seus clientes sistemas de configuração (Blecker et al., 2005). O principal objetivo destes sistemas é dar suporte aos utilizadores para que possam configurar os seus produtos de acordo com os seus requisitos particulares. Os sistemas de configuração dão suporte ao processo de configuração, que pode ser definido como o processo de desenho de um produto recorrendo ao uso de uma lista de componentes pré-definidos, tendo em conta uma lista de restrições de combinações dos mesmos (Blecker et al., 2005).

Um sistema de configuração pode também automatizar o processo de criação das encomendas de clientes, através do registo dos seus requisitos, e posterior transmissão da informação para a produção, sem que para isso tenham que ser envolvidos intermediários (Blecker et al., 2005). No que concerne à gestão da informação resultante do processo de configuração, muitas organizações têm por base modelos de referenciação direta, onde cada referência é tratada e identificada de forma única, ou seja, para cada uma é criada uma lista de materiais e gama operatória associada (Gomes, 2014). Uma desvantagem desta estratégia é cada referência ter que ser inserida e mantida atualizada pelo utilizador nos vários sistemas informáticos, o que a nível de desempenho se traduz num elevado esforço computacional em organizações com grande diversidade de artigos.

Para reduzir o número de horas-homem dedicado a tarefas de gestão de informação de artigos surgiu o conceito de referenciação genérica. Um modelo de referenciação genérica é um modelo no qual um conjunto de artigos é tratado e identificado como uma referência única (Gomes, Lima, & Martins, 2009). Este tem como base os conceitos de famílias de artigos, tipos de parâmetros, listas de materiais genéricas e gamas operatórias genéricas.

Um tipo de parâmetro é um conjunto de informação, que representa uma propriedade de um ou mais artigos, usado para caracterizar famílias de artigos (Martins, 2008). Cada elemento de um conjunto é chamado de valor do tipo de parâmetro (Gomes, 2014).

Como neste tipo de referenciação são caracterizadas famílias de artigos, e não artigos individuais, as listas de materiais e gamas operatórias têm também de ser genéricas, ou seja, devem conter informação base para que todos os elementos de uma família (variantes) consigam ser produzidos dentro de um *shop-floor*.

### **Como coordenar as atividades operacionais?**

No que diz respeito à gestão de operações, (Da Silveira, Borenstein, & Fogliatto, 2001) identificou que, associado ao conceito de MC (entre outras metodologias chave) estão os conceitos de produção ágil e produção *lean*.

Uma produção ágil pressupõe que os processos produtivos devem ser capazes de responder rapidamente a mudanças de informação introduzidas pelo mercado, pressupondo isso uma compreensão dos tempos de fluxos de informação e materiais (Naylor, Naim, & Berry, 1999). A produção *lean* pressupõe que todas as atividades que não acrescentam valor devem ser eliminadas, implicando o uso do mínimo de tudo o que é necessário para produzir um produto ou fornecer um serviço (Naylor et al., 1999). Esta filosofia pressupõe a eliminação de

desperdícios que podem ser representados por produção em excesso, tempos de espera, produtos defeituosos, entre outros (Rahman, Sharif, & Esa, 2013).

Tendo em conta o conceito de produção *lean* o paradigma produtivo *push* não consegue dar uma resposta eficiente à procura variada dos clientes. A existência de altos níveis de *stock*, *característicos* deste paradigma, não se adequa a ambientes de grande diversidade de artigos pois existe uma grande probabilidade de estes virem a constituir *stocks* de produtos obsoletos, traduzindo-se isso em custos desnecessários para uma organização. Para além disso, não haver restrições na movimentação de um lote entre postos de trabalho pode resultar em tempos de espera elevados para o início das operações de transformação. Por estes motivos um novo paradigma de produção deve ser considerado: produção puxada (*pull production*).

Num sistema produtivo com produção *pull* os trabalhos são iniciados com base numa necessidade gerada por encomendas dos clientes ou postos de trabalho (Bonney et al., 1999). Para cada artigo pode ser definido um nível de *stock* necessário e as ordens de clientes puxam a produção de maneira a serem restabelecidos esses níveis de *stock* pré-definidos, tanto para os produtos requisitados como para os componentes (Bonney et al., 1999).

Assim, uma máquina a montante do roteiro de fabrico de um lote, inicia cada trabalho após receber sinal da máquina imediatamente a jusante (Bonney et al., 1999). Esta característica faz com que o fluxo de informação neste paradigma seja no sentido inverso do fluxo de materiais, como representado na figura 1.

O sinal pelo qual se pode iniciar/lançar trabalhos numa máquina e(ou) sistema pode ser dado por *kanbans*, que são definidos como cartões físicos ou eletrónicos que providenciam informação para controlar o fluxo de inventário e materiais (Lin, Chen, & Chen, 2013). Os *kanbans* servem como ferramentas para controlar os níveis de *stocks* em filas de espera dos recursos produtivos, regulando a quantidade de produtos a serem produzidos dentro de um *shop-floor* (Rahman et al., 2013).



Figura 1- Fluxo de informação e de materiais em sistemas com produção pull. Adaptado de (Bonney et al., 1999)

## 2.3 Sistemas de informação para a customização em massa

Para preencher os requisitos organizacionais da MC, as organizações devem implementar tecnologias e sistemas avançados/inovadores que permitam oferecer produtos que vão de encontro com os requisitos específicos dos clientes, de forma rápida, com um custo unitário próximo do obtido por *mass production*. (Wang et al., 2016).

Para vários autores, o planeamento e controlo da produção é considerado como um dos principais fatores de sucesso para a MC (Fogliatto, Silveira, & Borenstein, 2012).

As organizações que aspirem à MC devem utilizar sistemas informáticos que auxiliem a gestão das operações, desde a criação de uma linha de encomenda até à receção do cliente. Um sistema de planeamento e controlo da produção (PCP) é considerado como crítico para o sucesso de qualquer organização da indústria transformadora (Jacobs, Berry, Whybark, & Vollmann, 2011).

### 2.3.1 Sistema de planeamento e controlo da produção

Para se obter um *shop-floor* coordenado e flexível, que cumpra com os requisitos da *mass customization*, é necessária uma eficiente comunicação e permuta de informação interdepartamental (Panetto, Dassisti, & Tursi, 2012).

Um sistema de PCP tem como principal objetivo planear e controlar todos os aspetos de um *shop-floor*, incluindo a gestão de materiais, horários, máquinas e pessoas (Jacobs et al., 2011).

Tal sistema tem como elementos funções organizacionais, onde a descrição de cada uma é apresentada de seguida.

**Gestão de Informação de Artigos (*Product Data Management*)** - Responsável por gerir a informação que alimenta as restantes funções organizacionais. A informação fornecida para as funções de PCP é sobre caracterização de artigos e operações, listas de materiais e gamas operatórias de artigos (Gomes, 2014).

**Planeamento Agregado** - Trata de agregar a procura definida por previsões em quantidades de artigos a produzir, para numa segunda fase serem definidas estratégias para a capacidade produtiva a utilizar (subcontratação, horas extra, etc.) (Silva, 2015).

**Planeamento Diretor de Produção (PDP)** - É responsável por definir as encomendas firmes dos clientes (desagregadas por produto) em necessidades de produção, contemplando *stocks* existentes e previsões. Esta tarefa acontece num horizonte temporal menor que o do planeamento agregado (Silva, 2015) e (Jacobs et al., 2011).

**Planeamento de Necessidade de Capacidade** - Estabelece a conversão da procura em necessidades de capacidade. Providencia a base para equilibrar os planos de produção com a capacidade instalada (Jacobs et al., 2011).

**Planeamento de Necessidade de Materiais** - Estabelece de forma determinística as necessidades líquidas de componentes e matérias-primas de cada plano de produção, dando sugestões de ordens de compra e produção a serem lançadas (Silva, 2015) e (Jacobs et al., 2011).

**Lançamento de ordens de compra** - Ato de libertar ordens de requisição de matérias-primas a um fornecedor.

**Lançamento de ordens de produção** - Ato de libertar ordens a serem executadas num *shop-floor* (Silva, 2015). Consiste numa autorização para que possam começar as operações de transformação inerentes a uma ordem de produção.

**Programação da Produção** – Pressupõe uma organização e implementação do plano de produção. Responsável por definir uma sequência de trabalhos e os postos em que estes devem ser realizados, definindo o instante temporal em que cada trabalho deve ser iniciado. Quando as operações de transformação ficam sequenciadas passam a trabalhos da programação. A sequência de produção guia, no curto prazo, o controlo da execução do plano de produção. O principal objetivo é maximizar a utilização dos recursos produtivos. (Zhang, 2017)

**Monitorização da produção** - O principal objetivo passa por garantir a execução do plano de produção. Para a execução dos processos produtivos deve haver coordenação e monitorização do estado das encomendas dos clientes. A disponibilidade de recursos produtivos e materiais deve ser constantemente controlada (Cichos & Aurich, 2016).



### 2.3.2 Tipos de sistemas de informação para a produção

As funções de planeamento e controlo da produção, por si só, não permitem que uma organização seja operacional, sendo também necessárias funções que as suportem e complementem. Algumas destas funções são: Gestão comercial, Gestão financeira, Gestão de recursos humanos e Engenharia do produto.

**Engenharia do Produto** - Responsável por definir de que forma os artigos vão ser produzidos dentro do *shop-floor* (Harrison & Petty, 2002), ou seja, as competências humanas e tecnológicas necessárias.

A informação existente nas diversas funções organizacionais está frequentemente distribuída por sistemas informáticos díspares, criando a necessidade de uma comunicação constante entre eles.

O esquema da figura 2 representa os fluxos de informação existentes entre as funções organizacionais identificadas, agregando parte por tipos de sistemas de informação existentes.

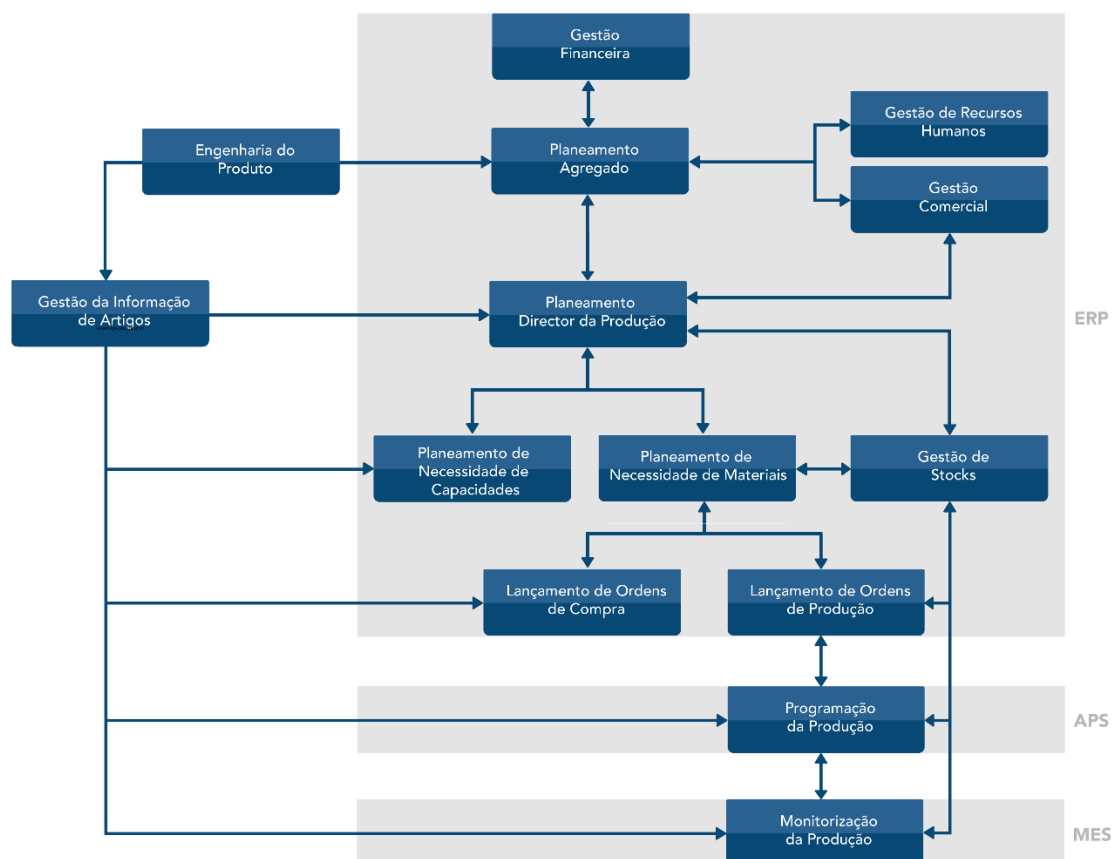


Figura 2- Fluxos de informação entre funções organizacionais

A caracterização dos sistemas informáticos identificados, na figura 2, é realizada de seguida.

### **Enterprise Resource Planning (ERP)**

Segundo (Romero & Vernadat, 2016), um sistema ERP pode ser definido como um sistema para a gestão de negócio englobando módulos integrados que dão suporte a áreas funcionais de vários departamentos tais como o planeamento da produção, a gestão comercial ou gestão financeira, entre outras áreas funcionais de uma organização. Os ERP são usados por forma a integrar e alargar os processos de negócio além dos limites das funções empresariais correspondentes, tanto a nível interno como interorganizacional.

### **Manufacturing Execution System (MES)**

Segundo (Neves, Akabane, & Marins, 2014) e (Neves, Akabane, Marins, & Kanaane, 2015), o MES é um sistema de informação e comunicação para o *shop-floor* de uma organização. Este permite obter *feedback* produtivo, gerar relatórios de produção, monitorizar o estado da produção e obter detalhes do processo de planeamento e sequenciamento.

Tem como principal objetivo a monitorização e melhoria de aspetos que influenciem os processos produtivos com o intuito de atingir uma alta flexibilidade produtiva, obter baixos custos de produção e fornecer aos supervisores de produção informação atual sobre o estado de equipamentos, entrega e consumo de materiais.

### **Advanced Planning and Scheduling (APS)**

Segundo (Vidoni & Vecchiatti, 2015), um sistema APS pode ser definido como um programa computacional que usa a simulação ou um algoritmo de otimização para resolver o processo do planeamento produtivo.

Este permite gerir o planeamento e sequenciamento da produção por forma a otimizar os recursos materiais e humanos, melhorando o lucro organizacional e oferecendo um serviço satisfatório aos clientes.

Um APS não substitui, no entanto, os recursos humanos dedicados ao planeamento. Este complementa os seus trabalhos, permitindo que estes estejam sempre no controlo para aceitar, modificar ou rejeitar os resultados oferecidos pelo APS.

### 2.3.3 Comunicação entre sistemas informáticos

A integração de um APS com sistemas financeiros ou dispositivos controlados em tempo real é considerada como importante para a otimização das suas potencialidades (Vidoni & Vecchietti, 2015). Um MES fornece informação para o APS, permitindo a otimização da globalidade dos processos produtivos, desde o lançamento de ordens de produção até serem produzidos produtos finais. Estes dois sistemas estão relacionados e devem ser integrados (Vidoni & Vecchietti, 2015).

Um APS também tem, geralmente, uma melhor performance comparativamente a um sistema ERP na área do planeamento da produção. Os módulos de planeamento de necessidade de materiais do ERP não conseguem satisfazer as necessidades funcionais de organizações com ambiente de grande diversidade de artigos (Vidoni & Vecchietti, 2015).

Existem dois tipos de relações que podem existir entre um sistema ERP e um APS: o primeiro necessita numa primeira fase de extrair diferentes tipos de dados de um ERP por forma a os processar e consecutivamente reencaminhá-los (Vidoni & Vecchietti, 2015).

O problema prende-se com muitas destas ferramentas não comunicarem entre si e isoladamente não serem apropriadas para rastrear e otimizar os ativos de uma organização ao longo de toda a cadeia de valor (Dias & Ierapetritou, 2017). Dados inconsistentes e incompletos são inevitáveis quando reunidos dados em tempo real através de várias fontes (Reuter & Brambring, 2015).

As informações de diferentes níveis do processo de decisão são frequentemente obtidas e armazenadas em diferentes departamentos, através de ferramentas informáticas distintas (Dias & Ierapetritou, 2017). Os responsáveis pelas decisões não têm acesso a toda a informação necessária para tomar decisões ótimas (Dias & Ierapetritou, 2017). Frequentemente, a informação é criada e transmitida com recurso a papéis (ou folhas Excel) entre departamentos (Zhong et al., 2012). Isto leva a que muitas vezes hajam erros na transmissão de informação, traduzindo-se em dados incompletos, imprecisos ou fora do tempo (Zhong et al., 2012).

A integração de dados, em todos os níveis da tomada de decisão, é uma das questões chave para um planeamento e controlo da produção eficiente (Dias & Ierapetritou, 2017). Este objetivo é conseguido através da implementação de novas ferramentas informáticas que permitam partilhar um fluxo de informação correto e transparente entre departamentos (Dias & Ierapetritou, 2017). Gerir informação heterogénea apenas é possível se os modelos de informação comuns estiverem disponíveis nas diferentes fases do ciclo de produção (Panetto et al., 2012).

## 2.4 Sistemas de informação e o processo de tomada de decisão

Os sistemas de informação atuais são capazes de retirar um grande número de dados de um sistema produtivo e definir quais ficam disponíveis para um gestor da produção no processo de tomada de decisão (Rakar, Zorzut, & Joman, 2004), estando este sobrecarregado com dados de diferentes fontes (Jovan, Zorzut, Gradišar, & Dorneanu, 2004).

Para uma visibilidade precisa e transparente de todo o fluxo de materiais é necessária uma recolha de dados bastante intensa (Zhong et al., 2012).

Um gestor da produção precisa de tirar o máximo partido da informação disponível para tomar decisões o mais acertadas possível, em tempo útil. A principal tarefa é monitorizar o estado do sistema produtivo, para saber onde atuar de forma rápida e assertiva (Jovan et al., 2004).

### 2.4.1 Avaliação da performance de um sistema produtivo

Em organizações com MC existe uma grande diversidade de artigos a circular no *shop-floor*, onde alguns produtos podem ser produzidos apenas uma vez, sendo fulcral um bom rastreamento da produção (Zhong et al., 2012).

Uma tecnologia que permita a rastreabilidade de artigos permite controlar efetivamente os lotes de produção ao longo de todo o seu roteiro de programação (Arkan & Landeghem, 2013), sendo possível obter a performance real do fluxo produtivo. Um sistema produtivo precisa de ter boa performance em todas as circunstâncias sendo para isso necessário uma correta medição (Stricker, Micali, Dornfeld, & Lanza, 2017). Obter visibilidade detalhada do fluxo de materiais é necessária para distinguir os *outliers* dos processos.

### **Medidas de Performance**

Para conseguirem monitorizar de forma rápida o estado de todos os elementos de um *shop-floor*, e eventos correspondentes, as organizações têm definido (utilizando dados armazenados nos sistemas informáticos) medidas de performance/desempenho. Uma medida de performance pode ser definida como um indicador usado pela gestão para medir, reportar e melhorar a performance (Parmenter, 2010). Estas medidas são dadas sob a forma de métricas, sendo uma métrica uma medida direta numérica representativa de uma parte de informação do negócio, em relação a uma ou mais dimensões (Kerzner, 2011).

As medidas de performance podem ser divididas em quatro tipos: Indicadores chave de resultado (KRI), Indicadores de resultado (RI), Indicadores de performance (PI) e indicadores chave de performance (KPI) (Parmenter, 2010).

**KRI** - Indicadores que permitem, de certa forma, avaliar se a organização está alinhada com a estratégia organizacional (Ex: Lucro da organização).

**RI** - Representam o que se atingiu, sumariza a atividade. Todas as medidas de performance financeiras são RI e não dão qualquer ideia do que é necessário mudar para atingir outros resultados (Ex: Vendas feitas no dia anterior).

**PI** - Ajudam os colaboradores a alinharem-se com a estratégia organizacional. Representam o que pode levar ao aumento ou obtenção de um certo nível de performance. Não são indicadores chave para o negócio. Ajudam as equipas a alinharem-se com a estratégia organizacional. São medidas não financeiras e complementam os KPIs.

**KPI** - Métrica ligada a um objetivo. Muitas vezes representa o quão acima ou abaixo se está de um objetivo. Esta deve representar o que se deve fazer para melhorar a performance significativamente ou atingir os objetivos organizacionais. São medidas focadas nos aspetos que cada organização considera mais críticos para o presente e futuro.

#### 2.4.2 *Key performance indicators*

Uma das chaves para um projeto bem sucedido é a efetiva gestão de informação (Kerzner, 2011). Entender a produtividade de um sistema produtivo estabelece as bases para caracterizar a sua performance bem como aspetos da sua sustentabilidade, como a eficiência de materiais e recursos (Stricker et al., 2017).

Enquanto que a medição da produtividade direta de um sistema é possível, determinar a(s) causa(s) e relações da variabilidade produtiva é de natureza complexa, envolvendo parâmetros que são difíceis ou inviáveis de medir (Stricker et al., 2017). Uma das soluções passa por desenhar *Key Performance Indicators* (KPI) como medidas para o sucesso no controlo da produção (Rakar et al., 2004).

#### **Características e propriedades de um KPI**

Os KPI ajudam ao sucesso no controlo da produção, fornecendo informações com o objetivo de ser possível gerar decisões informadas e com incerteza reduzida (Rakar et al., 2004).

Segundo (Jovan et al., 2004) estes podem ser definidos como variáveis que quantitativamente exprimem a eficácia ou eficiência de uma parte, processo ou sistema sob uma dada norma ou

objetivo. Estes são números ou valores que devem ser comparados com um objetivo interno ou externo (denominado de *benchmarking*) para dar indicação de performance (Ahmad & Dhafr, 2002).

Os KPI podem ser classificados como absolutos (independentes de qualquer outro indicador) ou relativos (conectam informação através de dois ou mais indicadores absolutos) (Meier, Lagemann, Morlock, & Rathmann, 2013).

Como muitos indicadores não são diretamente mensuráveis, a sua parametrização e hipotética forma de calcular deve ser pensada sob a forma de *output* da produção, mais propriamente sob a forma de variáveis do processo (Jovan et al., 2004).

Ao definir indicadores de performance a partir de dados em bruto, quatro propriedades devem ser definidas (Rakar et al., 2004):

- Unidade de medida – Métrica
- Tipo de medição – Absoluto ou relativo
- Período de medição – Quanto tempo vai ser necessário para calcular um indicador
- Fronteiras – Determina o quão longe uma organização quer englobar a medição de um indicador (linha de produção, instalação, fornecedores, distribuidores, etc)

No caso de KPIs interessantes para a gestão da produção, estes devem possuir as seguintes propriedades: ser facilmente medidos, ser possível manter os valores tidos como referência através de ajustes específicos de variáveis manipuláveis do processo de produção e, quando mantidos num valor ótimo, devem contribuir para o lucro global da produção (Jovan et al., 2004).

Os KPI aplicados à gestão de produção têm ainda os seguintes objetivos: Segurança dos processos produtivos e convergência com normas *standard* e regulações ambientais, correta realização dos planos de produção, aumento da eficiência produtiva e aumento da qualificação, motivação e satisfação dos colaboradores (Rakar et al., 2004). No entanto, os KPIs, por si só, não asseguram que estes objetivos sejam realizados caso as decisões que advierem da análise desta informação e a estratégia organizacional não forem nesse sentido.

### **Limitações no uso de KPI**

É preciso ter em conta que muitos relatórios não são ferramentas de gestão, representando apenas um conjunto de informação sem grande possibilidade de interpretação. Como ferramenta de gestão estes devem encorajar ações no tempo preciso e na direção certa (Parmenter, 2010).

Enquanto algumas métricas podem aparentar ser KPIs a sua interpretação deve ser prudente (Kerzner, 2011). É possível que uma determinada métrica funcione como KPI para um *stakeholder* e servir como simples métrica para outro, sendo por isso necessário ter em conta o sistema que se está a analisar (Kerzner, 2011). Muitas organizações usam métricas de eficiência que apenas medem uma parte da produtividade real, levando a ações inapropriadas (Ahmad & Dhafr, 2002). A má interpretação de uma métrica, ao pensar que estamos perante um indicador chave, pode levar a conclusões falaciais (Kerzner, 2011).

Se o objetivo de um sistema de medição de performance for melhorar a eficiência ou eficácia, então o KPI deve refletir variáveis controláveis. Não faz sentido medir uma atividade na qual os utilizadores não consigam alterar o *output* (Kerzner, 2011).

### **Formulação de um KPI**

Segundo (Rakar et al., 2004), indicadores chave de performance podem ser agrupados em indicadores chave que cobrem um determinado segmento produtivo. Estes podem, por exemplo, ser divididos em cinco categorias: segurança, eficiência, qualidade, rastreabilidade do plano de produção e questões relacionadas com colaboradores.

Cada um destes indicadores chave é derivado de indicadores base/parâmetros da produção onde cada um destes valores é normalizado e classificado com um peso de acordo com a sua importância. No final, procede-se à soma de todos os valores dos indicadores base (multiplicados pelo peso correspondente) e obtém-se um indicador chave, podendo este ficar disponível para o gestor da produção.

Caso um indicador chave se desvie do valor esperado, o gestor deve olhar para os indicadores base e tentar perceber qual a causa de tal desvio.

### **Método para a obtenção de um valor desejado de um KPI**

Segundo (Lindberg, Tan, Yan, & Starfelt, 2015), um método para alcançar um valor desejado de um KPI pode ser dividido em seis passos. Este método é baseado na identificação de sinais do processo ou combinações dos mesmos que estejam correlacionados com um KPI que se esteja interessado analisar.

- 1- Selecionar todos os sinais/variáveis do processo que sejam mensuráveis e possíveis de alterar.
- 2- Adquirir informação de dados históricos de tais sinais durante um determinado intervalo temporal.

- 3- Remover os sinais com zero de desvio padrão e também dados de períodos em que o sistema em estudo esteja inativo ou a operar sob condições anormais.
- 4- Calcular o KPI baseado nos dados históricos selecionados.
- 5- Procurar sinais ou combinações de sinais, do histórico, que estão fortemente correlacionados com o KPI.
- 6- Mudar os sinais identificados por forma a ver se alguma melhoria relevante é notada. Caso não se note uma melhoria significativa, escolher os sinais seguintes que melhor se correlacionam e repetir o processo até atingir o objetivo.



### 3. MÓDULO DE CUSTOMIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

O sistema GenSYS oferece uma solução que tem por base um modelo de referência genérica para a gestão de informação de artigos e engloba funções dos três tipos de sistemas informáticos identificados, permitindo a integração de dados de várias funções organizacionais. A informação está centralizada e constantemente disponível, sendo possível monitorizar o *shop-floor* e os restantes departamentos funcionais através de dados que ajudam na identificação de falhas e oportunidades de melhoria.

A existência de distintos indicadores de performance por organização obriga a que, de momento, os algoritmos para a sua obtenção tenham que ser desenvolvidos pela GenSYS.

Os clientes da GenSYS não conseguem obter, no instante temporal pretendido, muitas métricas devido ao tempo tradicional de desenvolvimento. Para além disso, muitos destes algoritmos têm em comum métricas ou fórmulas de obtenção semelhantes, tornando este trabalho repetitivo e pouco eficiente. Por esse motivo, através do GenSYS, é proposto um modelo para customização de indicadores por parte do utilizador.

Através da criação deste modelo é permitido parametrizar as métricas que mais se adequem aos objetivos das organizações, no instante em que estas são necessárias, sem que para isso tenha que haver um desenvolvimento constante por parte da GenSYS.

Este modelo deve ser incorporado num programa com funcionalidades que permitam a criação e gestão de indicadores de desempenho, de forma fácil e eficiente, sendo este denominado por GenPIC. A sigla PIC provém de *performance indicators customization* e é também um diminutivo de *picture*. O utilizador deve conseguir tirar uma “fotografia” ao estado de todos os elementos de um *shop-floor*.

#### 3.1 Formulação do modelo

O modelo vai ter como base entidades e eventos. Cada entidade corresponde a uma tabela onde cada coluna (atributo) corresponde a parametrizações ou *outputs* do sistema, sendo registadas entradas (instâncias) à medida que os eventos são realizados.

Neste modelo vão ser consideradas cinco entidades: Referências, Documentos, Movimentações, Operações e Programação. Estas entidades não existem atualmente no sistema, mas podem ser criadas através de informação armazenada pelo GenSYS.

As tabelas referentes a cada uma das entidades propostas encontram-se ilustradas nas tabelas 1 a 5. Todos os campos identificados com um “X” podem (ou não) conter informação e variam com diferentes valores dos atributos: “Tipo de documento”, “Tipo de Movimentação”, “Tipo de operação” e “Tipo de Evento”.

Os atributos “Tipo de parâmetro”, “Atributo funcional” e “Tipo de defeito” vão ter um número de colunas dinâmico, consoante as parametrizações realizadas no sistema. A título de exemplo, se numa organização se quer controlar a existência de três tipos de defeitos após uma operação de transformação, devem existir três colunas associadas na entidade “Programação”.

### Referências

O objetivo desta entidade é armazenar a informação associada ao conhecimento de uma organização sobre *lead-times*, tamanhos de lote de produção, *stock* de segurança, entre outros. Tais dados são denominados como atributos funcionais e devem ser associados a todas as variantes das famílias de artigos existentes.

A entidade “Referências” deve obter informação através do evento de geração de variantes (pertencente à gestão de informação de artigos), ou seja, a criação de um registo no sistema com informação sobre a lista de materiais, gama operatória e atributos funcionais. Um exemplo das instâncias que esta entidade pode assumir é dado pela tabela 1.

*Tabela 1 - Tabela exemplo da entidade "Referências"*

REFERÊNCIAS (CÓDIGO)	1	2	3
MP	Matéria-Prima	X	X
SA	Semi-acabado	X	X
PF	Produto Final	X	X

1 - Descrição da família de artigos

2 - Tipo de Parâmetro

3 - Atributo funcional

## Documentos

Na entidade “Documentos” são considerados quatro tipos de instâncias. Todas as instâncias derivam da gestão de documentos, ou seja, a execução de eventos que alteram o estado de um documento (criação, manutenção, conclusão, entre outros). Os documentos considerados podem assumir o tipo ordem de produção, talão de subcontratação, encomenda e ordem de compra.

O principal objetivo desta entidade é armazenar informação dos instantes em que ocorre cada evento de gestão de documentos, mas também informação (inserida pelo utilizador) que esteja associada a cada um dos documentos.

Um exemplo das instâncias que esta entidade pode assumir é dado pela tabela 2.

*Tabela 2 - Tabela exemplo da entidade “Documentos”*

DOCUMENTO (Nº)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ordem de Produção			X	X	X	X	X	X	X	
2	Talão de Sub-Contratação			X	X	X	X	X	X		
3	Encomenda		X	X	X	X	X	X	X		X
4	Ordem de Compra			X	X	X	X	X	X		

1 - Tipo de documento

2 - N ° da linha de encomenda associada

3 - Descrição/Código da referência (artigo)

4 - Tipo de parâmetro

5 - Quantidade a encomendar, produzir, comprar ou subcontratar

6 - Data de criação do documento

7 - Data de ativação/conferência de um documento

8 - Data proposta/planeada para a entrega/conclusão da ordem associada ao documento

9 - Data de conclusão da uma ordem de produção.

10 - Data de entrega ao cliente

## Movimentos

A entidade “Movimentos” pode assumir três tipos de instâncias: Entradas, Saídas e Entre postos. Estas instâncias derivam das funções de monitorização da produção, mais concretamente através dos eventos relacionados com *kanbans* de movimentação e arrumação

em armazém. As instâncias com tipo de movimento igual a “Entradas” e “Saídas” correspondem a movimentos realizados em armazéns ou supermercados, enquanto que “Entre postos” representa movimentações entre dois postos de trabalho, através de um *milk-run* parametrizado para tal efeito.

O objetivo desta entidade é armazenar informação dos instantes temporais em que existe uma entrada/saída, se separa/arruma/carrega/descarrega um artigo, bem como a quantidade de artigos movimentada e arrumada.

Um exemplo das instâncias que esta entidade pode assumir é dado pela tabela 3.

*Tabela 3 - Tabela exemplo da entidade "Movimentos"*

MOVIMENTOS (Nº)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Entradas	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X
2	Saídas	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
3	Entre Postos	X	X	X					X		X	X	X					X

- 1 - Tipo de movimento
- 2 - Referência (Artigo)
- 3 - Tipo de parâmetro
- 4 - Quantidade movimentada/a movimentar
- 5 - Nº de Entrada
- 6 - Data de arrumação
- 7 - Data de entrada
- 8 - Data de separação
- 9 - Data de carregamento de material
- 10 - Data de saída
- 11 - Data de descarregamento de material
- 12 - Posto de origem do fluxo de materiais
- 13 - Posto de destino do fluxo de materiais
- 14 - Quantidade inicial
- 15 - Saldo Final
- 16 - Fila de arrumação
- 17 - Posição
- 18 - *Milkrun* responsável pela movimentação

## Operações

A entidade “Operações” deve armazenar informação proveniente do evento de geração de variantes caso a instância tenha como valor de classe da operação “Execução”. Na classe “Paragem” o evento que fornece informação corresponde à marcação de operações de manutenção preventiva, onde são definidos o início e fim previstos. Por último, registos com a classe como “Setup” são criados através de eventos onde são definidos tempos *standard* de *setup*, não sendo considerados tempos entre mudanças de *setup* neste modelo.

O objetivo desta entidade é armazenar a informação do tempo planeado de todas as operações, das classes identificadas, que sejam realizadas no *shop-floor*.

Um exemplo das instâncias que esta entidade pode ter é representado na tabela 4

Tabela 4 - Tabela exemplo da entidade "Operações"

OPERAÇÕES (TIPO)	1	2	3	4	5	6	7
Operação 1	Execução	X	X	X	X		
Operação 2	Paragem					X	X
Operação 3	Setup	X	X	X	X		

1 - Classe da operação

2 - Descrição/Código da família de operações

3 - Descrição/Código da família de artigos

4 - Tipo de parâmetro (associado às famílias de artigos)

5 - Tempo planeado

6 - Instante inicial de uma operação de manutenção preventiva

7 - Instante final de uma operação de manutenção preventiva

## Programação

A entidade “Programação” deve armazenar dados da função de monitorização da produção, associados à execução de *kanbans* de trabalho, *setup* e paragem. Deve também armazenar dados do evento de inspeção de qualidade, onde é registada no sistema a descrição e quantidade de defeitos existente num lote de trabalho.

Esta entidade tem como finalidade armazenar dados de tempos produtivos e não produtivos. Para além disso, deve também armazenar dados que reflitam o estado atual de um lote de

trabalho, como por exemplo, a quantidade de artigos rejeitados ou a adição de unidades a um lote.

Um exemplo das instâncias desta entidade é representado pela tabela 5.

*Tabela 5 - Tabela exemplo da entidade "Programação"*

PROGRAMAÇÃO (Nº)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Execução	X		X	X	X	X	X	X	X	
2	Paragem		X			X	X	X			
3	Setup	X		X	X	X	X	X			
4	Inspeção de Qualidade	X		X	X	X	X	X			X

1 - Tipo de evento realizado

2 - Nº de documento associado

3 - Tipo de paragem (avaria de máquina ou manutenção planeada, por exemplo)

4 - Referência (Artigo)

5 - Tipo de parâmetro

6 - Descrição/Código do posto de execução do evento

7 - Data de início

8 - Data de fim

9 - Quantidade a produzir

10 - Quantidade rejeitada

11 - Tipo de defeito

### Parametrizações do modelo

Como introdução ao modelo, vai ser usado um indicador exemplo, o fator desempenho/velocidade (**FD**) do indicador *Overall Equipment Effectiveness*, contemplando um tempo de ciclo planeado (**TP**), uma quantidade planeada de produção (**QP**) e o tempo real de produção (**TRP**). Este indicador pode ser definido da seguinte maneira:

$$FD[\%] = \frac{TP \times QP}{TRP} \times 100 \quad (1)$$

Sob a ótica do utilizador, para a obtenção deste indicador, as três métricas podem-se relacionar com uma das entidades propostas. Para a definição de cada uma é necessário associar a entidade respetiva, ou seja, dizer de que função faz cada métrica parte.

$$FD = \frac{f(\text{Operações}) \times f(\text{Documentos})}{f(\text{Programação})} \quad (2)$$

Este indicador pode igualmente ser visto com base em funções existentes no GenSYS, o que reflete a integração de dados existente no sistema.

$$FD = \frac{f(\text{Gestão de Informação de Artigos}) \times f(\text{PDP})}{f(\text{Monitorização da Produção})} \quad (3)$$

Para além da entidade, existem outros parâmetros que devem ser considerados para abranger o maior número de métricas possíveis. Para a parametrização de uma métrica, neste modelo, será feita uma distinção entre uma métrica fixa e uma variável. Uma métrica fixa corresponde a um valor (ou conjunto de valores) constante ao longo do tempo enquanto que uma métrica variável assume uma frequência de cálculo constante. A lista de parâmetros considerada é dada pela tabela 6.

*Tabela 6 - Parâmetros para definir uma métrica*

PARÂMETROS	INPUT
Nome	
Código	
Entidade	
Métrica	
Tipo de Métrica	
Nº de Condições de Agregação	
Condição de Agregação	
Operação	
Periodicidade	

Cada parâmetro, à exceção do “Nome”, “Código” e “Métrica”, será explorado com mais detalhe de seguida.

**Tipo de Métrica** - Indica se o utilizador pretende que a métrica varie em função do tempo. Admite os valores de “Fixo” e “Variável”.

**Condição de Agregação [Atributo; Operador Relacional; Valor/Atributo]** – Define as fronteiras de medição de uma métrica, ou seja, os filtros de valores que o utilizador pretende. Deve ser permitido usar dados relacionados com um valor, ou conjunto de valores, de uma tabela (por exemplo: [Posto, =, Embalagem]) ou com um atributo (por exemplo: [Data de entrega, >, Data proposta]).

**Nº de Condições de Agregação** - Define o número de campos do parâmetro “Condição de Agregação”.

**Operação** – Representa uma operação sobre um conjunto de valores (Ex: média ou somatório), a associação destes a uma lista (com nº de posições igual ao nº de valores do conjunto) ou nenhuma (caso se queira um valor único de uma tabela).

No caso de associação a uma lista, a ordem pela qual os valores são inseridos deve ser desde os registos mais antigos até aos mais recentes.

**Periodicidade [Ordem de grandeza; Valor]** - Parâmetro existente quando o valor do “Tipo de Métrica” é “Variável”. Este define a frequência com que o utilizador quer que uma métrica seja calculada. Num primeiro instante deve ser inquirido ao utilizador a ordem de grandeza (hora, dia ou mês) e em seguida o valor pretendido.

Como a periodicidade das métricas pode ser diferente da periodicidade pretendida para um indicador de desempenho (assim como a operação pretendida) deve também existir uma parametrização para o indicador. Este deve ter em conta o parâmetro “Tipo de Indicador”, “Valor Benchmarking” e “Atributo Mestre”. Os parâmetros considerados para definir um indicador de desempenho são dados pela tabela 7.



Tabela 7 - Parâmetros para definir um indicador

PARÂMETROS	INPUT
Nome	
Código	
Tipo de Indicador	
Operação	
Periodicidade	
Atributo Mestre	
Início	
Valor Benchmarking	

Se o “**Tipo de Indicador**” for definido como “**Instantâneo**”, o cálculo deve ser atualizado após cada atualização do sistema, sempre para o instante de atualização menos a periodicidade das métricas. Caso o valor deste parâmetro seja “**Para histórico**”, este deve ficar registado para consulta numa janela diferente dos definidos com valor “Instantâneo”. Caso não se queira armazenar a informação, em indicadores que meramente auxiliam o cálculo dos indicadores pretendidos, o valor “**Auxiliar**” deve então ser considerado.

O **valor Benchmarking**, não sendo um campo de preenchimento obrigatório, pode ser usado para o gestor da produção perceber rapidamente se um indicador se encontra acima ou abaixo do desejado. A incorporação de parâmetros para uma escala de performance pode igualmente ser útil na identificação e análise de problemas existentes, no entanto, estes não são considerados nesta dissertação.

Quando se quer realizar uma operação matemática entre dois conjuntos (listas) pode acontecer que estes fiquem com um número de valores diferente ou a ordem de associação dos valores às listas não seja a desejada para a operação. Assim, o parâmetro “**Atributo Mestre**” é considerado para se definir o atributo pelo qual a operação se rege, ou seja, só é realizada entre elementos com o mesmo valor de atributo mestre. Se, por exemplo, o utilizador pretender medir um intervalo de tempo de permanência de um material em armazém e de uma entrada desse material terem sido realizadas duas saídas, em tempos distintos, o atributo mestre a ser considerado deve ser o “Nº de Entrada”.

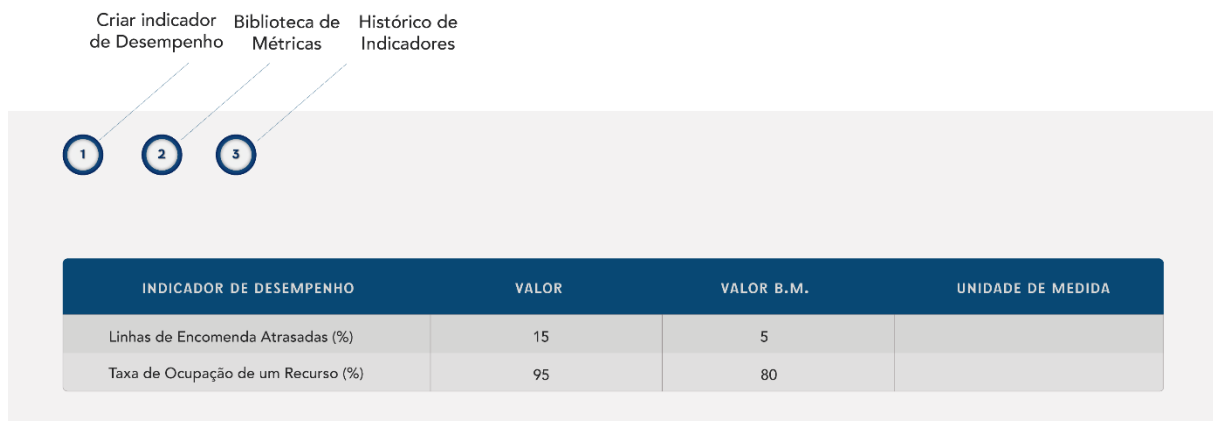
Após a definição de um indicador, uma primeira iteração de cálculo é realizada caso hajam dados históricos das métricas componentes e o “Início” parametrizado for a data corrente.

## 3.2 Layout do módulo

O modelo apresentado deve ser incorporado num módulo/programa com as seguintes tarefas: obter dados dos restantes módulos do sistema, manipular esses dados através do modelo e retornar indicadores de desempenho para o utilizador.

### 3.2.1 *Front-end* da janela inicial do módulo

Para melhor definir este módulo é proposta uma ilustração para o interface com o qual o utilizador pode interagir, estando este representado pela figura 3. Ao abrir o módulo devem ser apresentados todos os indicadores considerados como críticos. Devem também existir botões que permitam ao utilizador gerir o módulo, os quais são explorados de seguida à exceção do botão “Criar Indicador de desempenho” que é ilustrado no exemplo prático do modelo.



*Figura 3 - Front-End inicial do módulo de customização de indicadores*

### 3.2.2 *Front-end* para a biblioteca de Métricas

A Biblioteca de métricas deve permitir ao utilizador gerir métricas e consequentemente indicadores de desempenho. Uma ilustração do que pode ser o desenho da interface para esta funcionalidade é dada pela figura 4. Deve ser permitido ao utilizador mudar valores de parâmetros (de métricas já criadas), criar e eliminar métricas. Ao editar métricas usadas em mais do que um indicador deve ser pedida uma validação ao utilizador, para que confirme os indicadores onde deseja alterar alguma parametrização.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	ENTIDADE	MÉTRICA	TIPO DE MÉTRICA	PERIODICIDADE	OPERAÇÃO
TC	Tempo de Ciclo da Operação X	Operações	Tempo Planeado	Fixa		
QE	Quantidade a produzir para o Cliente A	Programação	Quantidade a produzir	Variável	(Mês, 2)	Média

*Figura 4 - Front-End para a funcionalidade de biblioteca de métricas*

### 3.2.3 Front-end para o histórico de indicadores

Nesta funcionalidade deve ser possível visualizar todos os indicadores de desempenho com valor de parâmetro “Tipo de Indicador” como “Para histórico”. Um exemplo para o sistema de interface com o utilizador desta funcionalidade é dado pela figura 5. Deve ser permitido guardar dados históricos para um ficheiro, assim como proceder à sua eliminação. Deve ser permitido guardar discriminadamente informação (relevante para uma organização) e também a criação de gráficos ou outras formas de tratamento de informação.

CÓDIGO	NOME	DATA	VALOR	VALOR BENCHMARKING	UNIDADE DE MEDIDA
TCF	Tempo em Curso de Fabrico	01-01-2018	10		Minuto
ND	Quantidade de defeitos do tipo Z	01-01-2018	5		Unidade

*Figura 5 - Front-End para a funcionalidade de histórico de indicadores*

### 3.3 Funcionamento do modelo – exemplo

Para melhor clarificar o modelo, e os conceitos até agora apresentados, em seguida encontra-se um enunciado que servirá de ponto de partida para uma proposta de criação de um indicador de desempenho. Neste exemplo apenas vão ser consideradas as entidades e atributos necessários à compreensão do caso apresentado.

#### Enunciado

Uma organização vende dois tipos de kits, o kit A e o kit B. Estes dois artigos podem ser representados por uma família de artigos “KIT” com parâmetro “Tipo de Kit”. Na sua gama operatória genérica existem as operações de “Montar” e “Embalar”.

O gestor da produção pretende verificar se o tempo de ciclo planeado para o Kit A está ajustado com a realidade da organização. O indicador pretendido pode ser dado pela equação 1, onde **FD** representa o fator desempenho, **TP** um tempo de ciclo, **QP** a quantidade planeada, **IFO** o instante de fim de uma operação e **IIO** o instante de início de uma operação.

$$FD[\%] = \frac{TP \times QP}{TRP} = \frac{TP \times QP}{IFO - IIO} \quad (1)$$

O GenPIC tem armazenada informação nas entidades “Documentos”, “Programação” e “Operações”, sendo as instâncias dadas pelas tabelas 8,9 e 10.

Tabela 8 - Entidade “Documentos” exemplo

DOCUMENTO (Nº)	TIPO	REFERÊNCIA	TIPO DE KIT	QUANTIDADE
1	Ordem de Produção	Kit	A	1
2	Ordem de Produção	Kit	A	1
3	Ordem de Produção	Kit	B	10

*Tabela 9 - Entidade “Programação” exemplo*

PROGRAMAÇÃO (Nº)	CLASSE	Nº DO DOCUMENTO	OPERAÇÃO	REFERÊNCIA	TIPO DE KIT	QUANTIDADE	INSTANTE INICIAL	INSTANTE FINAL
1	Execução	1	Montar	Kit	A	1	0	1,4
2	Execução	1	Embalar	Kit	A	1	1,4	5
3	Execução	3	Embalar	Kit	B	10	5	8
4	Execução	2	Montar	Kit	A	1	9	10
5	Execução	2	Embalar	Kit	A	1	11	14

*Tabela 10 - Entidade “Operações” exemplo*

OPERAÇÕES (TIPO)	TIPO	REFERÊNCIA	TIPO DE KIT	TEMPO PLANEADO
Montar	Execução	Kit	A	1
Embalar	Execução	Kit	A	2
Embalar	Execução	Kit	B	3

### **Passos para a criação de um indicador de desempenho através do GenPIC**

A estratégia de parametrização que vai ser apresentada consiste em, numa primeira fase, parametrizar todas as métricas base de um indicador, em seguida os indicadores auxiliares (caso necessário) e por último o indicador de desempenho pretendido. As etapas de criação deste indicador vão ser numeradas por ordem sequencial, da figura 6 à figura 13 com base nas entidades das tabelas 8,9 e 10.

#### **1º Passo – Criação da métrica Tempo Planeado (TP)**

A primeira métrica a ser parametrizada é o tempo de ciclo planeado. Os parâmetros considerados estão representados na figura 6. O objetivo é obter o tempo de ciclo do Kit A, contemplando as operações de “Montar” e “Embalar”. Tendo em conta os registos da entidade “Operações” esta métrica assume o valor 3.

PARÂMETROS	INPUT
Código	TP
Nome	Tempo Planeado
Entidade	Operações
Métrica	Tempo Planeado
Tipo	Fixa
Nº de Condições de Agregação	2
Condição de Agregação 1	Referência
	=
	Kit
Condição de Agregação 2	Tipo de Kit
	=
	A
Operação	Soma
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>CANCELAR</span> <span>OK</span> </div>	

*Figura 6 - Parametrização da métrica TP*

## 2º Passo – Criação da métrica Quantidade Planeada (QP)

A métrica QP é parametrizada para se obter a quantidade total de Kits A produzidos. Os valores de parâmetros considerados estão representados na figura 7. Como existem duas ordens de produção com quantidade 1 na entidade “Documentos”, esta métrica assume o valor 2.

PARÂMETROS	INPUT
Código	QP
Nome	Quantidade Planeada
Entidade	Documentos
Métrica	Quantidade
Tipo	Fixa
Nº de Condições de Agregação	2
Condição de Agregação 1	Referência
	=
	Kit
Condição de Agregação 2	Tipo de Kit
	=
	A
Operação	Soma
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>CANCELAR</span> <span>OK</span> </div>	

*Figura 7- Parametrização da métrica QP*

### 3º Passo – Criação da métrica Instante de Fim de uma Operação (IFO)

Esta métrica vai ser considerada como uma lista de valores. Os valores dos parâmetros considerados estão representados na figura 8. O objetivo é armazenar toda a informação dos instantes finais das operações do Kit A. Os valores que são associados a esta lista são: 1.4, 5, 10 e 14.

PARÂMETROS	INPUT
Código	IFO
Nome	Data de Fim
Entidade	Programação
Métrica	Instante Final
Tipo	Fixa
Nº de Condições de Agregação	2
Condição de Agregação 1	Referência
	=
	Kit
Condição de Agregação 2	Tipo de Kit
	=
	A
Operação	Lista
CANCELAR	OK

Figura 8 - Parametrização da métrica IFO

### 4º Passo – Criação da métrica Instante de Início de uma operação (IIO)

A métrica IIO, à semelhança da IFO, é considerada como uma lista. Os valores de parâmetros considerados para esta métrica estão representados pela figura 9. O objetivo é armazenar toda a informação dos instantes iniciais das operações do Kit A. Os valores que são associados a esta lista são: 0, 1.4, 9 e 11.

PARÂMETROS	INPUT
Código	IIO
Nome	Data de Início
Entidade	Programação
Métrica	Instante Inicial
Tipo	Fixa
Nº de Condições de Agregação	2
Condição de Agregação 1	Referência
	=
	Kit
Condição de Agregação 2	Tipo de Kit
	=
	A
Operação	Lista
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>CANCELAR</span> <span>OK</span> </div>	

*Figura 9 - Parametrização da métrica IIO*

### 5º Passo – Criação do indicador auxiliar TRP

O objetivo deste indicador é calcular o tempo total de todas as operações realizadas (TRP) para o Kit A. Os valores dos parâmetros considerados estão representados na figura 10 e o sistema de interface, para a criação deste indicador está ilustrado pela figura 11.

Como as métricas foram criadas previamente, estas já se encontram na funcionalidade “Biblioteca de Métricas”. A operação (IFO – IIO) representa o intervalo de tempo correspondente a cada operação realizada para o Kit A e, assim sendo, o resultado vai também ser uma lista. Esta lista vai ter como valores 1.4, 3.6, 1 e 3. O valor do parâmetro da operação como “Soma” permite agregar todos os elementos de uma lista. Assim sendo, o resultado final deste indicador assume o valor 9.



PARÂMETROS	INPUT
Código	TRP
Nome	Intervalo de Tempo
Tipo de Indicador	Auxiliar
Operação	Soma
Início	0
Valor Benchmarking	—
CANCELAR	OK

Figura 10 - Parametrização do indicador TRP

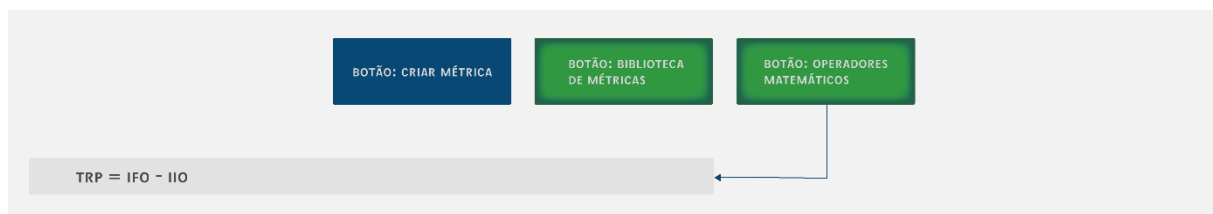


Figura 11 - Criação do indicador TRP

### 6º Passo – Criação do indicador FD

Por último é parametrizado o indicador de desempenho pretendido (FD). Os valores dos parâmetros considerados estão representados na figura 12 e o sistema de interface está ilustrado pela figura 13.

Após este último passo o indicador passa a estar definido, ficando disponível para o utilizador no *front-end* de histórico de indicadores.

PARÂMETROS	INPUT
Código	FD
Nome	Fator de Desempenho
Tipo de Indicador	Para Histórico
Operação	Nenhuma
Início	0
Valor Benchmarking	—
CANCELAR	OK

Figura 12 - Parametrização do indicador de desempenho FD



*Figura 13 - Criação do indicador de desempenho FD*

O numerador ( $QP \times TP$ ) vai assumir o valor 6 e o denominador (TRP) o valor 9. O valor que vai aparecer ao utilizador, arredondado às centésimas, é 66,67. Este valor indica que o tempo de ciclo planeado pode não estar correto (o que indica uma falha no planeamento) ou que existe algum problema que afeta a execução das operações.

## 4. INDICADORES DE DESEMPENHO ATRAVÉS DO GENSYS

Algumas medidas de desempenho surgiram recentemente como particularmente relevantes na realização de melhorias da performance operacional. Estas auxiliam a medição de performance das operações do *shop-floor*, auxiliando também as tomadas de decisão de um gestor da produção (Bauer, Lucke, Johnsson, & Harjunkoski, 2016).

Para medir a performance produtiva diversos indicadores devem ser definidos. A razão para uma baixa performance num dado setor é representada por desperdício sob variadas formas. Ao identificar as causas do desperdício é possível implementar ações que o reduzam, maximizando assim a performance (Lindberg et al., 2015).

O GenSYS permite gerar variados *outputs* do processo produtivo e conseqüentemente disponibilizar indicadores de desempenho que ajudem na identificação de problemas e oportunidades de melhoria.

De seguida, segundo funções existentes no sistema, vão ser classificados e analisados indicadores de desempenho que podem ser obtidos através do modelo apresentado. Todos os indicadores apresentados consistem em sugestões de cálculo, com base nos *outputs* e parametrizações do GenSYS. O utilizador deve poder ajustar as fórmulas às necessidades de cada organização e por isso as propostas não representam a única forma de obtenção dos indicadores identificados. Tais indicadores auxiliaram o processo de formulação do modelo e a definição das entidades e atributos considerados, ajudando na validação do modelo apresentado.

### 4.1 Gestão comercial

Para a função de gestão comercial, diversos indicadores podem ser tidos em conta com base na entidade “Documentos”. Um indicador bastante comum, relacionado com a eficiência do sistema produtivo e compromisso com os clientes, é a percentagem de entregas atrasadas. O número de linhas de encomenda atrasadas (**Nº LEAT**) pode ser calculado com as linhas em que a data de entrega a um cliente ( $t_{entrega}$ ) ultrapassa a data proposta de entrega ( $t_{proposta}$ ). Este indicador pode ser modelado recorrendo à fórmula e condição de agregação abaixo indicadas:

$$N^{\circ}LEAT = LEAT + 1 \text{ se } t_{entrega} > t_{proposta} \quad (4)$$

Com o indicador dado por (4) e o número total de linhas de encomenda (**NTLE**) é também possível calcular um indicador relativo à percentagem de linhas de encomenda atrasadas (**%LEAT**).

$$\% LEAT = \frac{LEAT}{NTLE} \times 100 \quad (5)$$

O valor absoluto do **Atraso** pode também ser importante para uma melhor perceção dos clientes ou referências onde o valor do atraso é elevado, podendo gerar alertas aos responsáveis pela função de gestão comercial, com o intuito de estes melhorarem a gestão de expectativas dos clientes.

$$Atraso = t_{proposta} - t_{entrega} \quad se \quad t_{entrega} > t_{proposta} \quad (6)$$

Outro indicador que pode ajudar no objetivo de maximização de compromisso com o cliente é a percentagem de datas de entrega que foram reagendadas. Neste caso terá de ser imputado no sistema uma variável cumulativa que faça a soma do número total de alterações de linhas de encomendas (**NALE**), para ser associada à entidade “Documentos” quando o valor do “Tipo de documento” for “Encomenda”. Este registo deve ser realizado quando se realiza um evento que provoca uma alteração da data proposta de entrega a um cliente.

$$\% LEAL = 1 - \frac{NTLE}{NTLE + NALE} \quad (7)$$

## 4.2 Planeamento da produção

Um indicador interessante para esta função é o tempo de bloqueio do planeamento (**TBPL**), onde são considerados os instantes de ativação de uma ordem de produção (**IAOP**) e o da confirmação de uma linha de encomenda (**ICLE**):

$$TBPL = IAOP - ICLE \quad (8)$$

Deve ser realizado, pelo sistema, um registo dos instantes temporais em que as execuções destes eventos ocorrem. Cada um destes instantes é registado, na entidade “Documentos”, quando o utilizador nas funções de lançamento de ordens de produção e gestão comercial executa os eventos correspondentes.

Como o sistema assenta num modelo *just-in-time*, onde o objetivo é cada produto final não constituir stock dentro da organização após terminada a sua produção, o valor absoluto de adiantamento (*earliness*) pode também ser importante para perceber se o modelo de planeamento está a ter em conta valores exagerados, propondo produzir muito antes do tempo em que é preciso. Desta forma, o valor de *earliness* não deverá ser significativo, garantindo que as operações de transformação são realizadas dentro de uma certa margem temporal. Para além disso, um alto valor de *earliness* pode significar custos de posse elevados indesejados. Para o seu cálculo é usada a data de entrega ao cliente e a data de fim de produção dos lotes associados a essa linha de encomenda ( $t_{fim\ produção}$ ).

$$Earliness = |t_{fim\ produção} - t_{entrega}| \quad se \ t_{fim\ produção} < t_{entrega} \quad (9)$$

A eficácia do tempo planeado de abastecimento de um fornecedor (**EF**) pode também ser importante para apurar se este valor é realista comparando o tempo previsto de abastecimento (**TPA**) e o tempo real em que este é realizado (**TRA**).

$$EF [\%] = \frac{TRA}{TPA} \times 100 \quad (10)$$

O TRA deve ser contabilizado desde o instante em que é requisitado um determinado material, pela função de lançamento de ordens de compra, e o instante em que este dá entrada na organização. Tal intervalo de tempo pode ser obtido com base em kanbans eletrónicos, sendo o primeiro instante armazenado na entidade “Documentos” e o segundo na entidade “Movimentos”. Este indicador pode ser usado para projetar o futuro de uma forma mais realista ou auxiliar tomadas de decisão relativas a seleção e análise de fornecedores, podendo posteriormente serem estabelecidos outros indicadores alusivos ao *trade-off* custo/tempo.

Como o mesmo fornecedor pode ter tempos de entrega distintos para cada artigo, uma desagregação por referência pode fazer sentido para inclusão nas funções de planeamento, onde os tempos planeados podem estar disponíveis através da entidade “Referências” sob a forma de um atributo funcional.

### 4.3 Programação da produção

Para ser perceptível se o tempo de bloqueio da programação (**TBPR**) é relevante, é considerada a variável **ISLT** que representa o instante de afetação de um lote de trabalho a um posto. Tal instante deve ser armazenado na entidade “Programação” com “Tipo de evento” de “Execução”.

$$TBPR = ISLT - IAOP \quad (11)$$

Na função correspondente à programação da produção, quando se sequencia um lote de trabalho a um posto, o sistema deve registar tal instante temporal para uso neste indicador (Entidade “Programação” - Classe da Operação “Execução”).

Quanto à avaliação de carga dos recursos e avaliação de desempenho, pode ser analisada a taxa de ocupação de um posto (**T.O**) através do somatório de tempo em que estão *kanbans* em execução (**TE**) sobre um intervalo de tempo (**t**), como por exemplo, o horário de trabalho de um posto. Este intervalo de tempo pode depois ser agregado ou desagregado conforme o nível de controlo que uma organização pretenda.

$$T.O(\%) = \frac{\sum TE}{t} \times 100 \quad (12)$$

Onde **t** corresponde a um intervalo de tempo

Através deste indicador pode-se ter indicação dos *bottlenecks* do sistema produtivo, ou seja, os recursos que estão a operar mais tempo do que o desejado, sendo vitais no processo produtivo de grande parte dos produtos finais e os recursos que, pelo contrário, estão a operar menos tempo do que o desejado, ajudando no balanceamento do sistema produtivo e no auxílio à tomada de decisão de compra/venda de recursos produtivos.

### 4.4 Gestão de stocks

Um indicador que pode ser útil na função de gestão de *stocks* é a quantidade de matéria-prima solicitada por unidade de tempo (**QMPUT**). Este pode ser dado pelo intervalo de tempo entre o instante em que é reconhecido pelo sistema que uma matéria-prima deu entrada na organização (**ITE**) e o momento em que cada unidade de quantidade é separada para consumo

num posto (**ITS**), assim como a quantidade a movimentar (**QM**). Todas estas métricas podem estar disponíveis na entidade “Movimentos”.

$$QMPUT = \frac{QM}{ITS - ITE} \quad (13)$$

Este indicador permite ter uma ideia da taxa de rotação das matérias-primas, podendo ajudar nas previsões de consumo, definição de ciclos de encomenda (caso uma organização trabalhe com esta tipologia de gestão de *stocks*) e auxílio na escolha de quantidade a encomendar a um fornecedor e(ou) a englobar em volumes de produção.

#### 4.5 Gestão da qualidade

Considerando o GenSYS, esta função é responsável por controlar, em tempo real, aspetos que influenciem a qualidade de matérias-primas, semiacabados e produtos finais. Tal controlo é representado pelo registo de defeitos, por posto de trabalho, e motivos associados. Podem também ser definidas inspeções de qualidade quando se rececionam matérias-primas ou após a execução de operações de transformação. Tais dados devem ser armazenados na entidade “Programação”.

Relativamente a esta função pode ser implementado um indicador alusivo à percentagem de produtos conformes (**%PC**), tendo em conta requisitos estéticos ou de desempenho, sob a totalidade de produção - número de produtos conformes (**NPC**) mais o número de produtos rejeitados (**NPR**). O sistema, através de um registo realizado pelos colaboradores que participem no processo produtivo nos terminais *cyber*-físicos, permite saber o número de produtos rejeitados, referências correspondentes e motivos de tais rejeições, o que permite calcular o indicador referido e compará-lo com um valor *benchmarking*. Este pode ser útil na análise de eficácia dos recursos ou para a análise de fornecedores.

$$\% PC = \frac{NPC}{NPC + NPR} \times 100 \quad (14)$$

Outro indicador interessante para a gestão de qualidade é o tempo médio entre rejeições de qualidade. Este pode ser dado pela média de intervalos de tempo entre rejeições de qualidades subsequentes (**IR**) - cada rejeição de qualidade será correspondente a uma unidade de

quantidade. Um lote com quantidade significativa não conforme deve subir acentuadamente este indicador, podendo gerar alertas nos responsáveis pela função de monitorização da produção para ser possível atuar rapidamente sobre o problema. Para auxiliar este tipo de análise poderá também ser contemplado um outro indicador de desempenho correspondente à percentagem de rejeitados num lote de trabalho (**%LR**), sendo necessário para o seu cálculo a quantidade de rejeitados de um lote (**QR**) e a quantidade de um *kanban* de trabalho (**QKBT**).

$$TER = IR_i - IR_{i-1} \text{ com } i = \text{número da rejeição} \quad (15)$$

$$LR [\%] = \frac{QR}{QKBT} \times 100 \quad (16)$$

Estes dois indicadores podem ajudar a definir o tipo de inspeção a fazer após determinados processos de transformação ou na receção de matérias-primas por parte dos fornecedores.

#### 4.6 Gestão da manutenção

No GenSYS existem eventos para marcar operações de manutenção preventiva e para afetar operações de manutenção curativa (quando se indica no sistema que houve uma avaria).

Um indicador que pode ser pertinente para uma organização é o tempo médio entre falhas de uma máquina (**TEF**). Para o seu cálculo será usada a média entre tempos consequentes de paragem (**IP**) que inviabilizam a execução de operações produtivas. O instante em que acontecem paragens dos recursos produtivos pode ser registado nos terminais existentes no *shop-floor*, o que permite o cálculo do indicador referido.

$$TEF = IP_i - IP_{i-1} \text{ com } i = \text{n}^\circ \text{ de paragem} \quad (17)$$

O tempo médio entre falhas de uma máquina pode levar a uma otimização da marcação de eventos de manutenção preventiva, podendo este ser baseado no tempo médio em que uma máquina falha, diminuindo assim os custos de manutenção curativa bem como tempos em que a produção fica parada, traduzindo-se num aumento consequente de produtividade.



## 4.7 Monitorização da produção

O sistema permite parametrizar recursos produtivos do tipo Linha de Fabrico. Através deste tipo de posto é possível afetar colaboradores, com pelo menos uma habilidade da linha, e saber quantos trabalhos são realizados por cada um e em que tempos são executados - o que torna possível calcular a produtividade correspondente (**PC**). Este poderá ser um bom indicador no que diz respeito à análise da eficiência dos colaboradores e produtividade global do sistema produtivo.

A produtividade pode ser medida em tempo real devido à existência de *kanbans* eletrónicos, onde o início e término de cada trabalho da programação é registado, sendo assim possível obter as quantidades realizadas por colaborador (**QR**).

$$PC = \frac{QR}{t} \quad (18)$$

Cada recurso pode ter diversas operações afetas, com variados tempos de ciclo e tamanhos de lote de produção. Por este motivo, o indicador anterior pode não ser o mais indicado para um cálculo realista da produtividade dos recursos. Assim, será considerado o indicador eficácia (**EFR**) que compara o tempo planeado de ciclo (**TPC**) com o tempo real de uma operação (**TRA**).

$$EFR [\%] = \frac{TRA}{TPC} \times 100$$

Para além de se poder comparar melhor a produtividade dos colaboradores também pode ser possível fazer um melhor planeamento (e conseqüentemente sequenciamento) das operações de transformação ao usar este valor de eficácia, após uma amostra significativa de dados, para ajustar o tempo previsto de cada operação.

Com este mecanismo é possível obter projeções do futuro mais realistas e assim fazer um melhor planeamento dos recursos. Este indicador pode também auxiliar a gestão comercial a aceitar encomendas.

Caso uma determinada operação necessite de *setup*, não realizada pelo próprio colaborador, o tempo de *setup* não deverá ser contabilizado para a produtividade desse recurso. Para o cálculo apenas devem ser contabilizados tempos produtivos.

Outros recursos onde poderá ser interessante medir a produtividade são os *milkruns*.

As organizações não têm frequentemente em consideração tempos estimados entre movimentações, devido à complexidade que tal medição acarreta. O sistema permite obter estes tempos, sendo possível rastrear o momento em que os materiais são separados (**TS**) em armazém e o instante em que estes são efetivamente entregues nos recursos produtivos (**TE**), recorrendo à entidade “Movimentos”.

Este indicador possibilita a medição da produtividade de cada *milkrun* através do tempo médio de abastecimento dos postos (**TA**).

$$TA = TE - TS \quad (19)$$

É legítimo pensar que quantidades maiores de certos artigos implicitamente refletem um tempo de abastecimento maior. Para um valor de produtividade mais realista poderá fazer sentido incorporar no indicador anterior a quantidade a movimentar por *kanban* (**QKB**).

$$TAKB = \frac{TA}{QKB} \quad (20)$$

Com estes dois indicadores poderá ser possível calcular médias de abastecimento por referência, posto ou *milkrun*, o que permite saber que referências demoram mais a levar até um posto, que postos demoram mais a ser abastecidos e quais *milkruns* conseguem satisfazer melhor as necessidades de cada recurso produtivo.

O motivo pelo qual uma referência pode demorar mais a ficar disponível num posto pode estar relacionado com a complexidade do processo de carregamento. Tais indicadores podem ser usados como ferramentas que auxiliam o processo de decisão na definição de rotas de *milkruns*, mudanças do *layout* do espaço fabril, aquisição de novos recursos ou mudanças de engenharia. Outro indicador que complementa os objetivos do tempo de abastecimento de um *milkrun* é o tempo de materiais em falta num posto (**TMF**). Este pode ser definido pelo tempo desde que o sistema reconhece que um posto não consegue realizar nenhum dos trabalhos sequenciados por falta de materiais (**IFM**) até que passa a ser possível executar pelo menos um desses trabalhos (**IEM**).

$$TMF = IEM - IFM \quad (21)$$

Este indicador também auxilia decisões respetivas a mudanças de *layout* ou melhorias de rotas de *milkruns*.

Para a função de monitorização pode também ser interessante obter o tempo em curso de fabrico de um lote de trabalho (**TCF**). Este pode ser calculado com o intervalo de tempo desde o instante em que se lança uma ordem de produção no *shop-floor* (Entidade “Documentos”) até cada lote, correspondente a essa ordem, der entrada em armazém (**TEA**) (Entidade “Movimentos”).

$$TCF = TEA - TAOP \quad (22)$$

Frequentemente, em organizações com grande diversidade de artigos, o número de artigos a circular dentro de um *shop-floor* é bastante elevado. As organizações devem controlar o número de artigos a circular no *shop-floor*, sendo bastante pertinente o cálculo do **WIP**. Para o seu cálculo devem ser consideradas as seguintes métricas: Número de trabalhos em execução (**NTE**), Número de Trabalhos no Posto (**NTP**), Número de Componentes no Posto (**NCP**), Número Trabalhos em Movimento (**NTM**) e Número de Componentes em Movimento (**NCM**). Todas estas métricas devem ser obtidas com base em dados existentes nas entidades “Movimentos” e “Programação”.

$$WIP = NTE + NTP + NCP + NTM + NCM \quad (23)$$

Cada uma destas variáveis é calculada da seguinte forma:

$$N^{\circ} \text{ Trabalhos/Componentes} = \sum Qtd_i \quad (24)$$

Onde *i* corresponde ao número de KMs/KBs em cada estado

A maior dificuldade prende-se com o cálculo do **WIP** correspondente aos trabalhos em execução. Um *kanban* em execução não permite saber que proporção do trabalho está terminada e qual está ainda em vias de começar. Uma ideia de tratar este problema é fazer uma relação proporcional entre o tempo de ciclo da operação, o intervalo de tempo desde que um *kanban* foi iniciado e a quantidade do lote, o que permite definir o valor a incrementar ao n° de trabalhos do posto e n° de componentes do posto.

Assim, se por exemplo, 30% do tempo previsto para a execução de um *kanban* tivesse passado, no cálculo do WIP seria considerada 30% da quantidade total do *kanban* como trabalhos no posto e 70% dos componentes necessários à produção da totalidade do *kanban* seriam referentes a componentes no posto.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O tempo de tomada de decisão de um gestor da produção deve ser o menor possível, não levando a consequências negativas por demora na resposta aos problemas. Os dados que este necessita para tomar todo o tipo de decisões devem estar constantemente acessíveis. Quem deve parametrizar os indicadores de desempenho é o utilizador, ou seja, o cliente que utiliza o sistema informático. O modelo apresentado traduz-se em vantagens para ambas as partes intervenientes, agilizando todo o processo.

Após a realização desta dissertação é possível compreender melhor a evolução que ocorreu, ao longo das últimas décadas, nas organizações da indústria transformadora e o papel que os diversos tipos de sistemas informáticos têm na capacidade de se customizar em massa. Para além disso, foi adquirido conhecimento sobre métricas e indicadores de desempenho que podem ser úteis para um gestor da produção, onde cada indicador de desempenho identificado foi analisado na ótica dos processos de tomada de decisão.

Para o objetivo principal de criação e documentação de um modelo de customização de indicadores foram propostas entidades que armazenam informação proveniente de eventos do GenSYS e onde através de parâmetros é possível calcular um elevado número de métricas e indicadores de desempenho. Faltou, no entanto, aprofundar mais o modelo de customização através do uso de uma ferramenta *Unified Modelling Language* (UML) para ajudar a perceber melhor as relações entre as diversas entidades e o GenSYS. O uso de tal ferramenta ajudaria a uma melhor compreensão do que seria necessário para a fase de implementação, a qual não foi também realizada.

Após a implementação do modelo no GenSYS, para que os utilizadores consigam de forma rápida e intuitiva calcular os indicadores de desempenho pretendidos, devem haver sessões de formação onde através da apresentação de exemplos práticos (de criação de indicadores) seja possível perceber o impacto das diversas escolhas possíveis na parametrização de uma métrica ou indicador de desempenho.

O exemplo apresentado para a criação de um indicador de desempenho apenas teve em consideração métricas fixas, não sendo consideradas métricas variáveis, ficando por elaborar um exemplo que englobe os dois tipos de métricas considerados.

A maior dificuldade encontrada foi na documentação do modelo de customização de indicadores. A identificação de novos indicadores implicou frequentemente a reconsideração dos parâmetros, entidades e atributos até então considerados.

## **Trabalhos Futuros**

Assumindo que o trabalho desenvolvido é válido, o foco futuro irá estar no aprofundamento do modelo e do sistema de interface com o utilizador, mais propriamente nos *outputs* que podem ser devolvidos para o utilizador e a forma como estes podem ser apresentados. Como trabalho futuro são propostos os seguintes objetivos:

- Estudo de hipotéticos *outputs* do sistema, ainda não criados, passíveis de associar às entidades existentes para enriquecimento do modelo.
- Desenho mais aprofundado do modelo conceptual do módulo dedicado à customização de indicadores, ou seja, das possibilidades apresentadas ao utilizador de como este quer que a informação esteja disponível.
- Modelação em UML do modelo proposto para, numa fase posterior, se proceder à implementação deste no GenSYS.



## BIBLIOGRAFIA

- Ahmad, M. M., & Dhafr, N. (2002). Establishing and improving manufacturing performance measures. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, 171-176.
- Arkan, I., & Landeghem, H. V. (2013). Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29, 502-512.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678.
- Bauer, M., Lucke, M., Johnsson, C., & Harjunoski, I. (2016). KPIs as the interface between scheduling and control. *IFAC-PapersOnLine*, 49(7), 687-692.
- Blecker, T., & Friederich, G. (2006). *Mass Customization: Challenges and solutions*. In: Springer Science.
- Blecker, T., Friedrich, G., Kaluza, B., Abdelkafi, N., & Kreutler, G. (2005). Information and management systems for product customization. In: Springer Science.
- Bonney, M. C., Zongmao, Z., Head, M. A., Tien, C. C., & Barson, R. J. (1999). *Are push and pull systems really so different?*. *International Journal of Production Economics*, 59, 53-64.
- Cichos, D., & Aurich, J. C. (2016). Support of engineering changes in manufacturing systems by production planning and control methods. *Procedia CIRP*, 41, 165-170.
- Da Silveira, G., Borenstein, D., & Fogliatto, F. S. (2001). Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, 72, 1-13.
- Dias, L. S., & Ierapetritou, M. G. (2017). From process control to supply chain management: An overview of integrated decision making strategies. *Computers and Chemical Engineering*, 106, 826-835.
- Eastwood, M. A. (1996). Implementing mass customization. *Computers in Industry*, 30(3), 171-174.
- Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J. C., & Borenstein, D. (2012). The mass customization decade: An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 138, 14-25.
- Forza, C., & Salvador, F. (2006). *Product Information Management for Mass Customization*. In: PALGRAVE MACMILLAN.
- Gomes, J. P., Lima, R. M., & Martins, P. (2009). *Analysis of Generic Product Information Representation Models*. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong.



- Gomes, J. P. O. (2014). *Metodologia para apoio à implementação de um modelo de referência genérica de artigos*. Tese de doutoramento, Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho.
- Harrison, D. K., & Petty, D. J. (2002). *Systems for Planning and Control in Manufacturing*. In: Elsevier Science.
- Hart, C. W. L. (1995). Mass Customization - Conceptual Underpinnings, Opportunities and Limits. *International Journal of Service Industry Management*, 6(2), 36-45.
- Hu, S. J. (2013). *Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization*. Paper presented at the Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems, Sesimbra.
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T. E. (2011). *Manufacturing planning and control for supply chain management*. In: The McGraw-Hill Companies.
- Jovan, V., Zorzut, S., Gradišar, D., & Dorneanu, B. (2004). *Closed-loop production control of polymerization plant using production KPIs*. Paper presented at the International Federation of Automatic Control Conference on Management and Control of Production and Logistics.
- Kerzner, H. (2011). *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards*. In: John Wiley & Sons.
- Li, Z., & Ierapetritou, M. G. (2009). Integrated production planning and scheduling using a decomposition framework. *Chemical Engineering Science*, 64, 3585-3597.
- Lin, C. J., Chen, F. F., & Chen, Y. M. (2013). Knowledge kanban system for virtual research and development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 119-134.
- Lindberg, C.-F., Tan, S., Yan, J., & Starfelt, F. (2015). Key performance indicators improve industrial performance. *Energy Procedia*, 75, 1785-1790.
- Martins, P. (2008). "Product Data Management." IDEIA - Apoio à Investigação e Desenvolvimento Empresarial Aplicado, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Guimarães, 2008.
- Meier, H., Lagemann, H., Morlock, F., & Rathmann, C. (2013). Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. *Procedia CIRP*, 11, 99-104.
- Naylor, J. B., Naim, M. M., & Berry, D. (1999). Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 62, 107-118.
- Neves, J. M. S. d., Akabane, G. K., & Marins, F. A. S. (2014). *Contributions of MES (Manufacturing Execution System) to improve manufacturing competitive priorities*. Paper presented at the Production and Operations Management Society, Singapore.
- Neves, J. M. S. d., Akabane, G. K., Marins, F. A. S., & Kanaane, F. (2015). Deployment the MES (Manufacturing Execution System) aiming to improve competitive priorities of manufacturing. *Independent Journal of Management & Production*, 6(2), 449-463.

- Panetto, H., Dassisti, M., & Tursi, A. (2012). ONTO-PDM: Product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 334-348.
- Parmenter, D. (2010). *Key performance Indicators - Developing, Implementing and Using Winning KPIs* (Second ed.). In: John Wiley & Sons.
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). *Lean Manufacturing Case Study with Kanban System*. Paper presented at the International Conference on Economics and Business Research.
- Rakar, A., Zorzut, S., & Joman, V. (2004). *Assesment of production performance by means of KPI*. Paper presented at the Proceedings of the control, University of Bath.
- Reuter, C., & Brambring, F. (2015). Improving data consistency in production control. *Procedia CIRP*, 41, 51-56.
- Romero, D., & Vernadat, F. (2016). Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends. *Computers in Industry*, 79, 3-13.
- Silva, S. C. (2015). *Textos de Gestão da Produção*. Universidade do Minho.
- Stricker, N., Micali, M., Dornfeld, D., & Lanza, G. (2017). Considering Interdependencies of KPIs - Possible Resource Efficiency and Effectiveness Improvements. *Procedia Manufacturing*, 8, 300-307.
- Tu, Q., Vonderembse, M. A., & Ragu-Nathan, T. S. (2001). The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer. *Journal of Operations Management*, 19, 201-217.
- Vidoni, M. C., & Vecchiotti, A. R. (2015). A systemic approach to define and characterize Advanced Planning Systems (APS). *Computers & Industrial Engineering*, 90, 326-338.
- Wang, Z. Q., Zhang, M., Sun, H. Y., & Zhu, G. L. (2016). Effects of standardization and innovation on mass customization: An empirical investigation. *Technovation*, 48-49, 79-86.
- Zhang, J. (2017). *Multi-Agent-Based Production Planning and Control*. In: John Wiley & Sons.
- Zhong, R. Y., Dai, Q. Y., Qu, T., Hu, G. J., & Huang, G. Q. (2012). RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29, 283-292.