

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Controlo da Atividade de Produção

Maria Leonilde Rocha Varela

2015

Índice

1.	Controlo da Atividade de Produção	3
1.1.	Lançamento.....	4
1.2.	Afetação	4
1.3.	Sequenciamento/Despacho	4
1.4.	Programação detalhada ou calendarização	5
1.5.	Supervisão e Controlo	5
2.	CAP em diferentes tipos de produção	5
3.	Diferentes abordagens ao CAP	6
3.1	Material Requirement Planning - MRP	6
3.2	Just in Time- JIT/ Lean Manufacturing.....	7
3.3	Teoria das restrições – TOC	7
4.	Diferentes mecanismos de CAP	8
4.1	Paradigmas de autorização da produção: Push versus Pull	8
4.2	Mecanismos de CAP baseados no controlo de carga.....	9
4.2.1	Workload Control (WLC).....	9
4.2.2	Drum-Buffer-Rope - DBR.....	12
4.2.3	Base Stock System - BSS	13
4.3	Mecanismos de CAP baseados em Cartões	14
4.3.1	Toyota Kanban System -TKS	14
4.3.2	Generic Kanban System -GKS	15
4.3.3	Constant Work In Process – CONWIP	17
4.3.4	Work In Process – CAPWIP	18
4.3.5	Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization – POLCA.....	19
4.3.6	Generic POLCA – gPOLCA ou GPOLCA.....	20
4.3.7	Comparação dos mecanismos CAPWIP, GKS e GPOLCA.....	21
5.	Bibliografia	22

1. Controlo da Atividade de Produção

No âmbito da Gestão de Produção (GP), o Controlo da Atividade de produção (CAP) refere-se a um conjunto de funções de planeamento e programação a produção, que se realizam tipicamente num horizonte temporal de planeamento de médio a curto prazo e em tempo real, portanto, trata-se, essencialmente, de uma função de controlo e supervisão da produção em espaço fabril. Esta é uma função extremamente útil e necessária às empresas, no sentido em que orienta uma utilização sustentável dos recursos utilizados de modo a satisfazer as necessidades do mercado e a evitar atrasos, desperdícios e quebras ou baixas de produtividade, entre outras metas importantes a atingir, no contexto de cada tipo de empresa. Deste modo, o CAP é utilizado de modo a gerir esses recursos de produção de forma, tanto eficiente, como eficaz. Este processo baseia-se em quatro fases principais:

- Lançamento dos trabalhos,
- Afetação da carga por cada centro de trabalho,
- Despacho dos trabalhos nos respetivos centros de trabalho,
- Supervisão e controlo dos trabalhos e avaliação do desempenho dos mesmos.

De modo sumário das fases acima apresentadas, pode definir-se o lançamento dos trabalhos como sendo a libertação dos trabalhos para o espaço fabril para que possam ser processados, mas só depois de criadas e certificadas as condições de produção e a data a que esta se vai realizar. A segunda fase consiste em distribuir os trabalhos lançados anteriormente a cada posto de trabalho de modo a satisfazer o programa de produção. Posteriormente à afetação é necessário definir as ordens de trabalho existentes nas filas de espera. Isto poderá ser executado ou por sequenciamento, onde a sequência é ordenada de modo a otimizar um certo critério de desempenho específico, ou por despacho, onde apenas um trabalho é escolhido para ser processado de seguida perante a disponibilidade de cada posto de trabalho. Seguidamente a estas fases, é necessário acompanhar os trabalhos a serem processados de modo a que estes cumpram a qualidade estabelecida e para que os prazos de fabrico sejam cumpridos.

Sendo uma função de curto prazo, o controlo da atividade produtiva faz parte do planeamento e controlo da produção. O controlo da produção tem como missão planear, dirigir e controlar o abastecimento de materiais e as atividades de processamento das matérias-primas de acordo com os planos estipulados pelo planeamento da produção.

1.1. Lançamento

O lançamento consiste em determinar o momento e quais os trabalhos a lançar nesse instante no espaço fabril para produção. Esta fase só acontece depois de estarem asseguradas todas as condições necessárias para que se verifique o início do processamento tais como: a disponibilidade de materiais, meios de produção (máquinas e ferramentas), recolha dos dossiers de fabrico e programas de produção incluindo toda a documentação auxiliar necessária, entre outros requisitos específicos de cada contexto de produção específico.

1.2. Afetação

A afetação ou distribuição de carga, dentro do CAP, consiste em atribuir/allocar os diferentes trabalhos lançados em fabrico aos diferentes centros de produção e recursos produtivos, de forma mais detalhada, a cada posto de trabalho ou máquina, para satisfazer o programa de produção e os objetivos a atingir pela empresa.

1.3. Sequenciamento/Despacho

A seguir à afetação é necessário definir a ordem pelo qual vão ser executados os trabalhos que se encontram nas filas de espera. Existem duas alternativas para resolver esta situação: através de sequenciamento ou através de despacho.

No sequenciamento é definida a sequência de fabricação dos trabalhos em cada posto do sistema produtivo de forma a conseguir-se otimizar alguma medida de desempenho, tipicamente baseada no cumprimento de prazos de entrega dos trabalhos aos clientes, por exemplo, minimizar o número de trabalhos atrasados.

No despacho, ao contrário do sequenciamento, apenas um único trabalho é escolhido, de cada vez, por exemplo, para otimizar o número de trabalhos atrasados num determinado posto de trabalho, se este estiver disponível, para que possa ser realizado de seguida.

Regra geral, por razões de variabilidade das condições de produção, na indústria usa-se mais frequentemente o despacho em detrimento do sequenciamento ou planeamento mais formal e completo. Assim, o despacho recorre normalmente a regras de prioridade para determinar qual o trabalho a executar a seguir. Alguns exemplos de regras de despacho são: o fator urgência do trabalho; o critério FIFO (*First In First Out*); o critério LIFO (*Last In First Out*); a regra SPT (*Shortest Processing Time*); o maior ou menor número de operações, entre muitas outras.

1.4. Programação detalhada ou calendarização

A função de programação detalhada ou calendarização, no âmbito do CAP, visa estabelecer os instantes de início e de fim de cada uma das operações de cada trabalho a executar num dado espaço fabril, com eventuais esperas e interrupções no processamento e posterior reafecção das operações dos trabalhos aos recursos de produção disponíveis para o efeito. Trata-se, portanto, de uma função complexa, com muitos requisitos e, consequentemente, difícil de concretizar, principalmente quando é efetuada de uma forma mais precisa e dinâmica, de cada vez que novos trabalhos são considerados para serem processados. Além disso, a existência de um vasto conjunto de alternativas em termos de objetivos a atingir (maximizar e/ou minimizar) torna esta função do CAP ainda mais complexa, tornando-se necessário definir critérios robustos e exequíveis e prioritários em cada instante do processo de tomada de decisão.

1.5. Supervisão e Controlo

Na fase de supervisão e controlo é verificado o andamento dos trabalhos no sistema de produção, preferencialmente de uma forma constante, efetuando-se uma comparação entre o plano de produção e a evolução real da produção no sistema fabril, de modo a conseguir-se garantir um certo nível funcionamento da produção e de qualidade dos produtos assim como o cumprimento dos prazos de produção dos trabalhos lançados no espaço fabril.

2. CAP em diferentes tipos de produção

Um sistema de controlo da atividade de produção (CAP) eficaz pode garantir o cumprimento dos objetivos internos de uma empresa, incluindo objetivos voltados para os clientes da empresa, tipicamente visando a otimização dos processos de trabalho, uma apropriada gestão de materiais e o cumprimento de prazos de entrega aos clientes.

A relevância do CAP varia fundamentalmente com o tipo e sistema de produção, que terão de estar ajustados ao mercado e à procura do produto (Carmo- Silva, 2010).

As empresas podem agrupar-se em duas tipologias principais no que diz respeito ao tipo de produção: Produção para Stock (MTS-*Make-to-Stock*) e Produção por encomenda (MTO- *Make-to-Order*). No entanto, existe outra forma de produção designada Montagem por Encomenda- (ATO - *Assemble to Order*) que surge devido à crescente exigência de uma rápida entrega e diminuição do risco relacionado com o stock de produtos acabados. Posto isto, é necessário

procurar o mecanismo mais adequado para controlar a atividade produtiva que vá de encontro às características do sistema produtivo e objetivos estratégicos de cada empresa.

As decisões do controlo do fluxo de materiais e produção podem ser contextualizadas em dois paradigmas principais de CAP: o *pull* e o *push*. O paradigma *push* é a visão tradicional do CAP e planeamento (em ambiente de MRP, *Material Requirement Planning*). Neste sistema produz-se quando existem encomendas em todas as fases da cadeia de produção. Já o paradigma *pull* está associado à filosofia de produção JIT (*Just In Time*) onde se puxa o trabalho a realizar do fim da cadeia logística até ao seu início). No sistema *pull*, as encomendas são desencadeadas pela utilização real em vez de serem planeadas. Aqui usam-se sistemas de *kanban* (que são etiquetas, cartões ou fichas) que podem ser, essencialmente, do tipo, mono ficha ou dupla ficha, entre outros tipos de sistemas de *kanban* e mais recentemente do tipo *e-kanban* (Carmo-Silva, 2010).

A produção baseada na filosofia JIT pretende resolver problemas de inventários desequilibrados e o excesso de trabalhadores e equipamento, uma vez que, neste método, o tempo de produção é diminuído ao máximo, de forma a manter a conformidade em caso de mudanças.

O JIT faz com que os processos apenas produzam as partes necessárias no tempo necessário, tendo apenas um stock mínimo necessário para realizar os processos.

O mecanismo CAPWIP segue uma abordagem JIT, sendo uma extensão do Toyota Kanban System (TKS) e, por outro lado, o Generic Kanban System (GKS) e o Generic Polca (GPOLCA) seguem uma abordagem WLC, sendo mecanismos de reposição de carga. Ao utilizarem cartões de produção fazem com que a carga do sistema seja repostada, controlando, simplificada e sem necessidade de monitorização, tanto a carga admissível no sistema como também o lançamento das ordens de produção.

3. Diferentes abordagens ao CAP

3.1 Material Requirement Planning - MRP

O MRP (*Material Requirement Planning*) surgiu na década de 60 por causa da necessidade de se gerir os desperdícios de stock de matérias-primas e dos artigos intermédios, bem como de produtos acabados. O MRP utiliza três elementos essenciais para obter um programa completo de produção e de compra de matérias-primas que são: o MPS (*Master Programming Scheduling*) ou programa diretor (ou mestre) de produção (PDP), que programa as necessidades de produção de produtos a vender; a informação relativa às existências de materiais, como matérias-primas,

produtos intermédios e produtos acabados; e a lista de materiais de cada produto que identifica as quantidades de cada artigo de produtos intermédios e de matéria-prima constituem informação essencial no planeamento da produção (MPS e MRP).

Assim, tendo como referência o MPS e os *lead times* de cada artigo (tempos estimados para a produção de cada produto), o sistema MRP programa as necessidades de materiais para as ordens de produção.

3.2 Just in Time- JIT/ Lean Manufacturing

A filosofia ideal de produção JIT (*Just In Time*) surgiu em 1988, no Japão, tendo sido desenvolvida por Taiichi Ohno. O modelo JIT surgiu pela necessidade de se produzir com custos de produção inferiores através da eliminação de desperdícios. Para além das vantagens económicas evidentes, este modelo trouxe ainda melhorias ao nível de satisfação do cliente, pois assim conseguiu-se cumprir mais facilmente os prazos de entrega de produtos e ainda garantir uma melhoria na sua qualidade.

Assim, do ponto de vista do funcionamento de um sistema de produção será um bom modelo a seguir, centrando-se, não só, na preocupação de redução de stocks mas também, em alguns elementos fundamentais relacionados com a melhoria do desempenho, tais como: o controlo total da qualidade, a melhoria contínua através da formação contínua e a polivalência dos seus operadores, bem como a eliminação de todo o tipo de desperdício. Para esta filosofia funcionar é necessário que o sistema produtivo seja preferencialmente orientado para o produto, de modo a que não seja muito complexo e tenha poucas variantes de produtos e de fluxos de produção, como tipicamente acontece no caso de sistemas de produção do tipo em linha ou célula de produção.

3.3 Teoria das restrições – TOC

Uma outra abordagem importante ao CAP baseia-se em TOC (*Theory of Constraints*), que consiste num conjunto de princípios que ficou conhecido como a Teoria das Restrições, desenvolvida por Goldratt (Fernandes & Silva, 2006). Trata-se de uma abordagem típica das filosofias que abordam os gargalos de estrangulamento na produção ou *bottlenecks* (centros de trabalho críticos). Parte da premissa básica de que qualquer empresa produz sempre com algum tipo de restrição. Assim esta filosofia consiste em identificar essas restrições e explorar, ao máximo possível, as suas potencialidades pois considera que será à custa da otimização do desempenho dos recursos com maiores restrições ou constrangimentos que será possível maximizar o desempenho do sistema produtivo.

4. Diferentes mecanismos de CAP

Um procedimento ou mecanismo de CAP refere-se ao processo de planejar e supervisionar a produção e o fluxo de materiais de um sistema de produção, podendo abranger, desde a aquisição de matérias-primas até à entrega dos produtos acabados aos clientes.

Faz todo o sentido que existam diferentes mecanismos de CAP uma vez que os sistemas de produção também são muito diversos dependendo das características da procura e de produção, bem como dos objetivos estratégicos de uma empresa. Os mecanismos de CAP assentes em cartões têm sido bastante popularizados devido às suas vantagens principalmente associadas à sua simplicidade de implementação e, em geral, à sua eficácia no CAP. Inicialmente tinham sido desenvolvidos para serem aplicados num ambiente de produção repetitivo com pouca diversidade de produtos e entregas rápidas das encomendas, o que implica a existência de stocks de produtos acabados e intermédios e a sua reposição logo após o consumo. Mas o paradigma está a mudar e cada vez mais os clientes procuram produtos personalizados de acordo com as características do cliente e é necessário adaptar os mecanismos de CAP para que as empresas possam adoptá-los de forma mais fácil e apropriada ao seu tipo ou filosofia de produção, essencialmente voltado para uma produção por encomenda, de modo a uma adequada resposta face às variações de procura e à variedade de produtos solicitados pelos clientes.

4.1 Paradigmas de autorização da produção: Push versus Pull

Em relação ao paradigma de autorização de produção, os mecanismos podem ser designados de push, onde a produção pode ser iniciada sempre que os materiais estão disponíveis para serem processados, independentemente dos níveis de inventário nos centros de trabalho (CT) seguintes e após a conclusão de um trabalho, este é empurrado para o próximo CT e deste para os seguintes, até que sejam executadas todas as operações; ou de pull onde o CT subsequente retira (puxa) do CT precedente os produtos necessários, no momento de tempo e nas quantidades necessárias. O processo precedente produz apenas as quantidades requisitadas pelo CT subsequente. Logo, caso não haja autorização por um CT subsequente para se iniciar a produção, o CT precedente é mantido parado, mesmo se existir material a processar. Além destes dois paradigmas podemos identificar mecanismos que têm simultaneamente características pull e push, denominados híbridos pull-push.

No paradigma push, a produção pode ser iniciada sempre que os materiais, i.e. matérias-primas, e ou produtos intermédios ou em fase de transformação, destinados a satisfazer encomendas ou um programa de produção, estão disponíveis para serem processados, independentemente dos níveis de stock nos centros de trabalho seguintes. Nesta estratégia ao concluir-se um trabalho, este é empurrado para o próximo centro de trabalho e deste para os seguintes, até que sejam executadas todas as operações. Já no paradigma pull, um determinado CT é mantido parado, mesmo se existir material a processar, até que os centros de trabalho seguintes, que vão continuar o processamento, deem autorização para se iniciar o fornecimento, o que despoleta a produção para reposição. Além destes dois paradigmas podemos identificar mecanismos que têm ao mesmo tempo características pull e push, que são chamados híbridos pull-push.

4.2 Mecanismos de CAP baseados no controlo de carga

4.2.1 Workload Control (WLC)

O WLC (*Workload control*) é uma abordagem de planeamento e controlo da produção que integra dois mecanismos: controlo de entradas e o controlo de saídas (*input-output control*). Este mecanismo foi desenvolvido para se adequar a ambientes de produção complexos como *job shops* associadas muitas vezes à produção por encomenda (MTO, *Make To Order*). De forma muito genérica, o *input-output control* lança os trabalhos para os centros de trabalho consoante os restantes já lançados forem sendo concluídos, de modo a conseguir-se manter os *lead times* controlados. Se isto não acontecer, a capacidade produtiva de um sistema produtivo estará a ser subaproveitada.

O principal objetivo do WLC pode caracterizar-se como sendo controlar as filas de espera na fábrica, com o propósito de reduzir o tempo dos trabalhos em curso de fabrico e assim conseguir obter prazos de entrega aceitáveis. A ideia é a de equilibrar e restringir o WIP a um nível mais baixo quanto possível de forma a reduzir os tempos mortos de produção e diminuir tempos de percurso.

Assim, podem identificar-se três níveis hierárquicos principais onde se pode fazer o controlo das filas de espera: à entrada, aquando de um lançamento ou no despacho. Em cada nível da hierarquia podem ainda diferenciar-se por cada tipo de controlo: controlo das entradas e controlo das saídas.

No mecanismo WLC, a aceitação ou recusa de determinada encomenda é baseada na disponibilidade de capacidade para concluir os trabalhos dentro do prazo de entrega estabelecido. Se por um lado aceitar poucas encomendas pode levar a uma diminuição da utilização dos RPs

(recursos de produção) e consequentemente da saída no sistema, por outro lado aceitar demasiadas encomendas pode originar um bloqueio do espaço fabril, aumentando os tempos de percurso e podendo até levar ao incumprimento dos prazos de entrega estabelecidos inicialmente.

Quanto ao lançamento, tal como o próprio nome indica é a função do CAP encarregar de lançar trabalhos para o espaço fabril. Assim, depois da aceitação de uma encomenda é necessário realizar diversas operações de preparação até que fica disponível para lançamento. No WLC, a decisão de lançamento é tomada de forma periódica sendo, em termos gerais, fundamentada principalmente por dois fatores, especificamente a urgência do trabalho e a sua influência no espaço fabril, isto é na distribuição da carga pelos centros de trabalho.

No que diz respeito ao despacho, este é a função do CAP que está incumbida de escolher, de entre os trabalhos que estão em fila de espera para serem processados, aquele que se deve ser afeto a um determinado RP, por exemplo, a uma dada máquina ou linha de produção que fica livre. Em termos gerais, são usadas regras de despacho muito simples para determinar a prioridade de cada trabalho tais como a regra do FIFO, regras orientadas para as datas de entrega, entre outras.

O WLC controla simultaneamente o lead time dos produtos, a capacidade produtiva e o stock. WLC é projetado para ambientes de produção complexos, tais como Job-Shop e a indústria Make-To-Order (MTO) e com origem no conceito controlo de entradas/saída.

De acordo com Stevenson, Huang e Hendry (2009), o WLC é projetado especificamente para ambientes de produção complexos, especialmente para o setor MTO e para as pequenas e médias empresas (PME). O seu principal objetivo é manter o comprimento das filas a níveis adequados para a data de entrega, tendo em conta a capacidade e os recursos do sistema.

Segundo Kingsman e Hendry (2002), que se essas filas forem curtas e estáveis, o tempo de espera e o fluxo será controlado e fiável.

De acordo com Breithaupt, Land e Nyhuis (2003), é possível identificar três níveis hierárquicos relacionados com o fluxo de ordens, tais como a entrada dos pedidos, a sua respetiva concretização e, por fim, a sua saída.

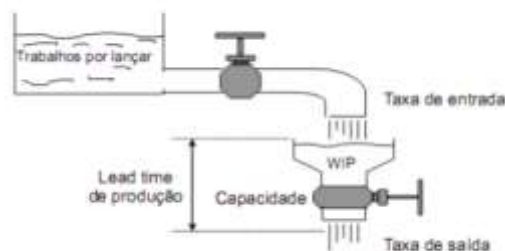


Figura 1 - Funcionamento do WLC.

De acordo com Lopes (2010), a decisão em cada nível, deve ser tomada relativamente às ordens autorizadas a seguir para a próxima fase, caso estas precisem de ajustamentos de capacidade. O mesmo autor refere que em termos gerais, a carga do sistema (taxa entrada) é controlada através do controlo das filas de espera em pre-shop e dos mecanismos de lançamento, em função da capacidade dos estágios de produção (taxa de saída). Com o controlo das entradas e das saídas é possível controlar o WIP, que por sua vez, influencia os tempos de percurso e os lead time de produção dos trabalhos.

A chegada de um trabalho ao sistema é processada de acordo com a regra FIFO (First Come First Served), posteriormente aloca-se a uma estação de entrada (Pool), onde espera até ter autorização para avançar para o ShopFloor, esta autorização depende da carga de trabalho, ou seja, se a carga de um trabalho nos CT não exceder o limite de carga imposto procede-se ao seu lançamento para produção, caso contrário o trabalho permanece na Pool de entrada no sistema, até obter autorização para progredir para o lançamento.

O WLC tem sido definido por vários autores como o controlo das filas de espera no espaço fabril. Se as filas de espera permanecerem relativamente pequenas e controladas, então os tempos de espera e consequentemente os tempos de percurso manter-se-ão, também, controlados.

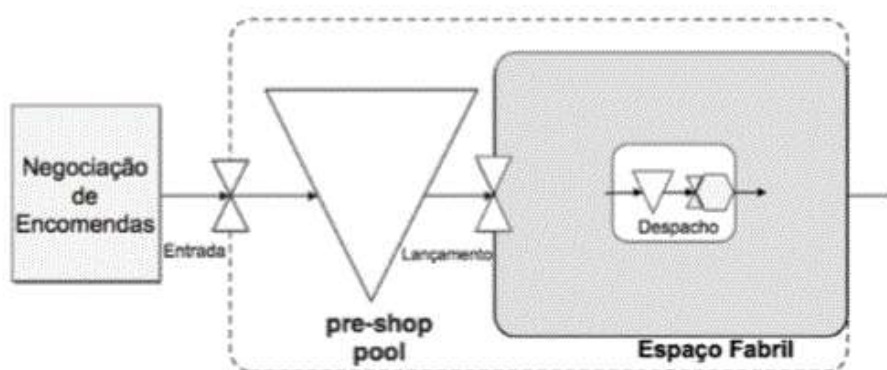


Figura 2 – Ilustração do Funcionamento do WLC (Akilioglu, et al., 2015).

4.2.2 Drum-Buffer-Rope - DBR

O mecanismo de CAP *Drum-Buffer-Rope* - DBR baseia-se na filosofia de Goldratt da Teoria das Restrições (Fernandes & Silva, 2006). Neste mecanismo define-se o DBR, como sendo o centro de trabalho crítico que determina o ritmo de produção do sistema. O comportamento de controlo de carga apresenta algumas semelhanças com a TOC, mas em vez de marcar o ritmo de produção para apenas um centro de trabalho crítico analisa todos os centros de trabalho e controla a carga de todos para assegurar o equilíbrio do sistema produtivo.

Este mecanismo tem em conta a Teoria das Restrições, é composto por três elementos principais, o Tambor (Drum), a Reserva (Buffer) e a Corda (Rope).

De acordo com Tocico (2012 citado por Lucas 2014) o Tambor é a principal restrição do sistema, processa as ordens de produção numa sequência específica, tem como base o prazo de entrega das encomendas. Este determina o ritmo a seguir pelos outros processos que fazem parte do sistema, logo todos os outros processos devem estar sincronizados com a programação da restrição.

Seguindo a mesma linha de ideias de Lucas (2004) o Buffer tem como objetivo proteger a restrição contra interrupções, assim o material deve chegar à restrição com a devida antecedência temporal representa o lead time adicional permitido, para além do tempo de processamento e de setup, o sistema deve cumprir os prazos estabelecidos. Quanto maior for a variabilidade existente no sistema maiores buffers serão necessários.

Por fim, a corda funciona como meio de comunicação entre a restrição principal (Tambor) e a libertação de material, permite que o material seja lançado a tempo, que não haja paragens e que o material seja lançado a uma velocidade adequada.

Esta técnica de controlo de atividade produtiva funciona recorrendo ao auxílio de 'proteções' (buffers) que garantem que não haja interrupção do fornecimento de materiais ou que se estabilize o fluxo produtivo, aumentando assim a eficiência das máquinas envolvidas no processo.

Assim, este mecanismo avalia, quando é lançado um trabalho, qual o CT com mais carga imputada. Isto permite que nenhum trabalho possa ser processado enquanto o seu nível de carga for maior do que a norma de carga imposta. Caso isto não se verifique, o trabalho permanece na Pool de entrada do sistema até que obtenha autorização para lançamento, ou seja, até que a carga imputada nesse CT seja menor ou igual que a norma de carga.

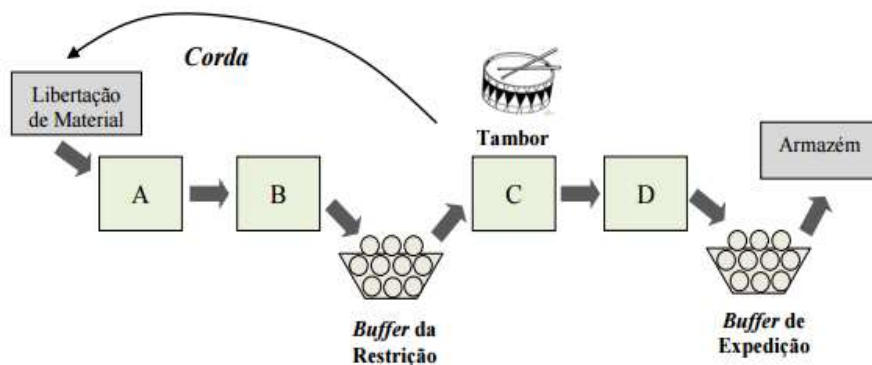


Figura 3 - Funcionamento do DBR.

4.2.3 Base Stock System - BSS

Este modelo, desenvolvido por George Kimball, tem como objetivo definir qual o nível adequado de stock, perante a dificuldade entre os custos de stock e os custos de não ser capaz de satisfazer as encomendas dentro do prazo.

É considerado como o sistema de reposição de stock mais simples, e baseia-se na ideia de que, de cada vez que um item é removido, é feita uma ordem de produção de um outro, de modo a repor o stock.

Segundo Hopp (2011), o Base Stock System (BSS) serve de base ao sistema kanban, já que os cartões representam ordem de reposição que são acionadas sempre que um item é retirado. Em indústrias cuja procura seja muito baixa, este sistema é o ideal.

Ainda de acordo com Hopp (2011), na modelação de um BSS deve assumir-se que a procura ocorre num determinado momento em intervalos irregulares e que é satisfeita ou pelo stock (caso exista), ou por pedido (caso o stock esteja esgotado). De cada vez que há procura, deve haver uma ordem no sentido de repor o stock. Assim, o BSS opera para que a informação da procura seja transmitida a todos os centros simultaneamente. Estas ordens ocorrem a um tempo fixo, o lead time.

Outro ponto importante de analisar é o lead time, isto é, o tempo que demora a obter as encomendas. Posto isto, é estudado o ponto de reaprovisionamento, conhecido por Base Stock Level (BSL), ou seja, o ponto em que se deve encomendar as matérias-primas para estarem no momento exato para iniciar a produção, evitando dessa forma falhas de materiais para iniciar a produção e atrasos na entrega aos clientes.

Com a evolução dos sistemas logísticos e com o crescente uso de prazos fixos para a reposição de stocks, têm vindo a surgir problemas para os distribuidores já que é nos armazéns uma maior dificuldade em gerir a variedade de novos produtos que chegam dos seus diferentes clientes.

Sumariando, a técnica BSS, originalmente desenvolvida por George Kimball, faz com que sejam evitados alguns dos problemas que, eventualmente, surjam em sistemas de distribuição com múltiplas localizações.

Os três aspetos mais importantes do BSS são:

1. Toda a informação relativa à procura do produto final é disponibilizado para, posteriormente, ser tomada a decisão em todos os pontos de stock.
2. Prioritariamente, o reabastecimento do stock é feito com base na procura do produto final, ao invés do uso do stock. Havendo, assim, uma distinção da procura com o reabastecimento do stock.

O stock-base que é mantido em cada localização é função do stock nessa determinada localização mais stock que eventualmente exista nas restantes localizações.

4.3 Mecanismos de CAP baseados em Cartões

Os mecanismos de CAP baseados em cartões são muito simples de aplicar mas ao mesmo tempo conseguem ter um desempenho eficaz na redução do WIP (Work In Progress) e dos tempos de percurso. Existem vários tipos de mecanismos de CAP baseados em cartões, nomeadamente o Toyota Kanban System (TKS), o Constant Work In Process (CONWIP), o Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (POLCA), e o Generic POLCA – gPOLCA (Vollmann, 2005; Thürer, et al., 2015).

4.3.1 Toyota Kanban System -TKS

O *Toyota Kanban System* (TKS) é o mais conhecido dos mecanismos baseados em cartões e tem como base a filosofia de produção *JIT* que surgiu pela necessidade de se produzir com custos de produção inferiores através da eliminação de desperdícios. Assim, à entrada de cada centro de trabalho existe um mínimo de trabalhos a processar e à saída um mínimo de trabalhos processados. *Kanban* é um cartão de controlo da produção e usa-se a estratégia da Toyota para supervisionar os fluxos de materiais. A Toyota tem um armazenamento intermediário após a produção de componentes e armazenamento intermédio adicional à frente dos centros de trabalho de montagem. Esta usa um sistema *kanban* de dois cartões. O primeiro é um cartão de transporte

que move o recipiente de peças de um local para outro. O segundo é um cartão de produção que autoriza a produção. Para além disso, os cartões *kanban* substituem todas as ordens de trabalho e reduzem o problema da sequenciação dos postos de trabalho nos centros de trabalho. Pode-se dizer que o mecanismo *Kanban* é um paradigma *pull* pois os centros de trabalho só são autorizados a produzir quando têm um *kanban* de produção. Desta forma, evita-se os erros de planeamento pois as encomendas só são desencadeadas pela utilização real em vez de serem planeadas. Todos os movimentos *pull* do fim da cadeia logística até ao início são estipulados pelo fluxo de cartões *kanban*.

Existem diversas variações do TKS relativamente à maneira como pode ser implementado. Algumas delas são: *Generic Kanban System* (GKS) (Chang e Yih, 1994); *Generalized Kanban Control System* (GKCS) (Buzacott, 1989); *Adaptative Kanban System* (AKS) (Tardif e Maaseidvaag, 2001).

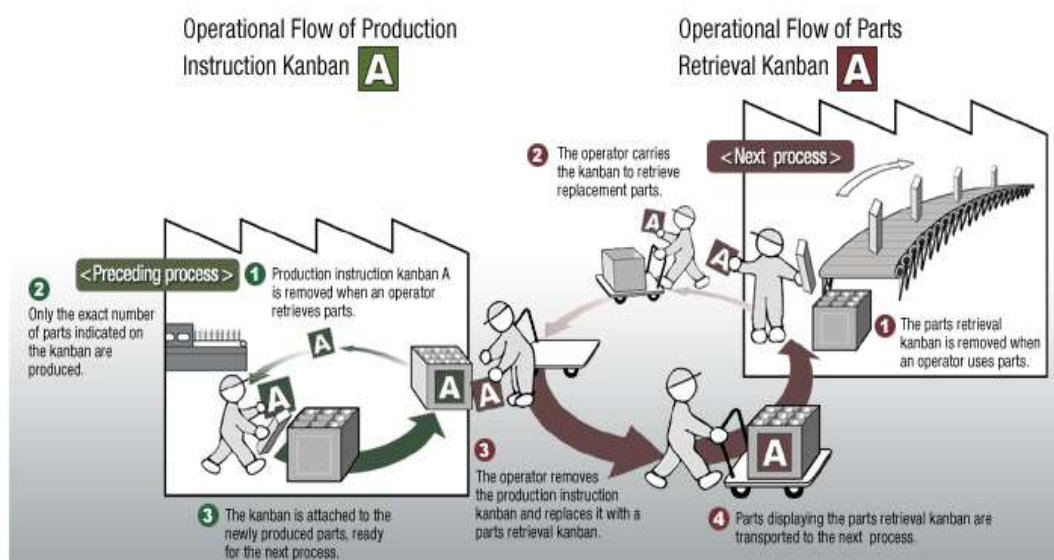


Figura 4 - Funcionamento geral de um sistema *kanban* (Ochoa, 1998).

4.3.2 Generic Kanban System -GKS

O *Generic Kanban System* (GKS) foi desenvolvido para controlar o número de trabalho a serem realizados num sistema de produção. Um esquema utilizando o GKS indica qual o número fixo de *kanbans* a ser utilizado por um posto de trabalho, sendo que o pedido de produção só é válido se houver disponibilidade. Caso contrário, terá que se aguardar por outro *kanban*. De uma forma geral, existem sempre dois *kanbans*: o *kanban* para aquisição e o *kanban* da produção. A Figura seguinte ilustra o funcionamento deste tipo de mecanismo de CAP baseado em cartões.

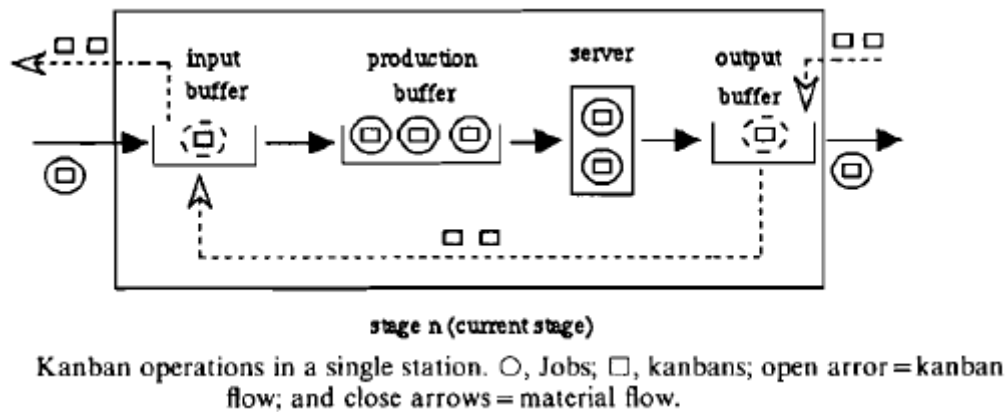


Figura 5 – Ilustração do funcionamento do GKS (Chang & Yih, 1994).

Neste sistema é utilizado um “cartão de ordem” chamado de Kanban que dá a ordem para o trabalho a realizar. Existem dois tipos de cartões, um deles é o “Kanban de transporte”, que é utilizado quando um processo passa para o processo seguinte; e o outro que se denomina de “Kanban de produção” que é usado para ordenar a produção da fração retirada pelo processo seguinte. Ambos estão sempre anexados aos recipientes das peças. Quando o conteúdo de um recipiente começa a ser utilizado, o “Kanban de transporte” é removido do mesmo e levado, por um trabalhador, para levantar a peça em questão do ponto de inventário do processo seguinte e deixando nesse recipiente. De seguida, o “Kanban de produção”, anexado nesse mesmo recipiente, é removido e transformado em informação de execução do processo, produzindo a peça para reabastecer o mais rápido possível. Desta forma, as atividades de produção do final da linha de montagem estão conectadas os processos precedentes ou aos subcontratados e concretizam a produção JIT de todo o processo.

O GKS é um sistema híbrido, pois são puxados pelos cartões para onde devem ir “pull” e em cada centro de trabalho são empurrados para ser feito o seguinte “push”. Sendo assim, é um método “Pull-Push”, tal como o GPOLCA.

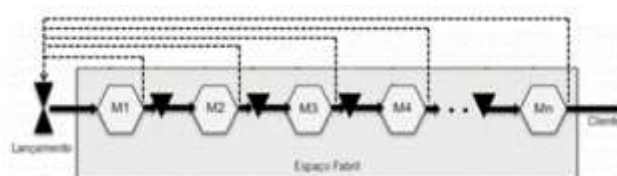


Figura 6 – Esquema geral da aplicação de um mecanismo GKS (Junior & Filho, 2010).

4.3.3 Constant Work In Process – CONWIP

O Constant Work In Process (CONWIP) é um mecanismo introduzido em 1990 e é uma alternativa ao TKS, tendo como base também a filosofia de produção JIT mas a sua aplicação é mais simples do que o TKS. Surgiu numa tentativa de aplicar as vantagens do JIT a ambientes produtivos em que o mecanismo TKS demonstrou ser inadequado. O TKS é mais adequado para ambientes de produção repetitivos enquanto que o CONWIP pode ser aplicado em ambientes produtivos mais diversificados. Apesar disso, também no CONWIP a produção é controlada por cartões, só que nesta situação são atribuídos a quaisquer trabalhos no momento do lançamento e, portanto, não são específicos de qualquer centro de trabalho ou tipo de produto. Neste mecanismo de CAP, quando uma ordem de produção é terminada ou quando um produto é consumido no stock, o cartão referente é libertado para que outro trabalho possa ser lançado em produção para se repor o stock ou no caso de MTO a autorizar o lançamento em produção de um novo trabalho.

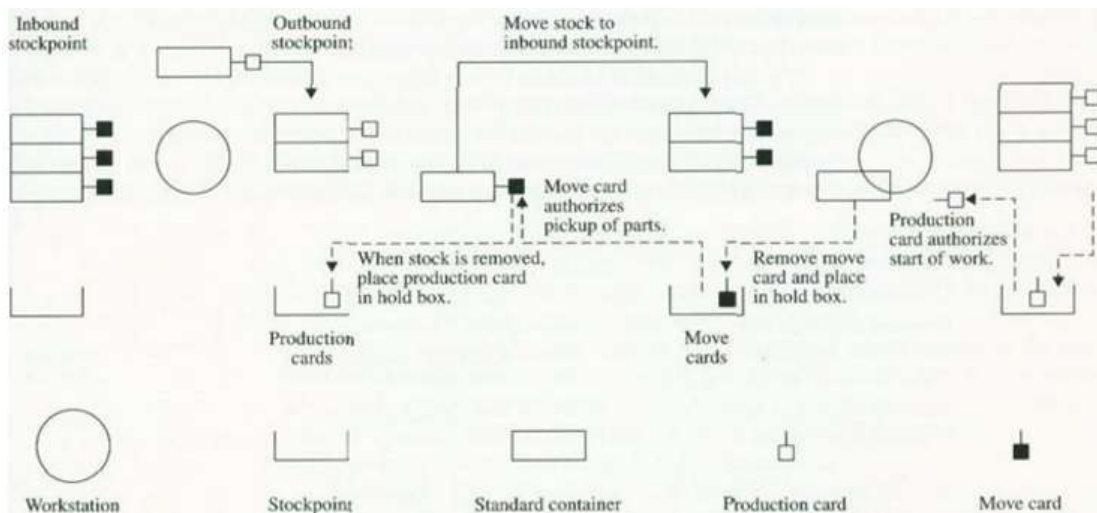


Figura 7 – Exemplo do Funcionamento de TKS, com 2 cartões (Vollmann, 2005).

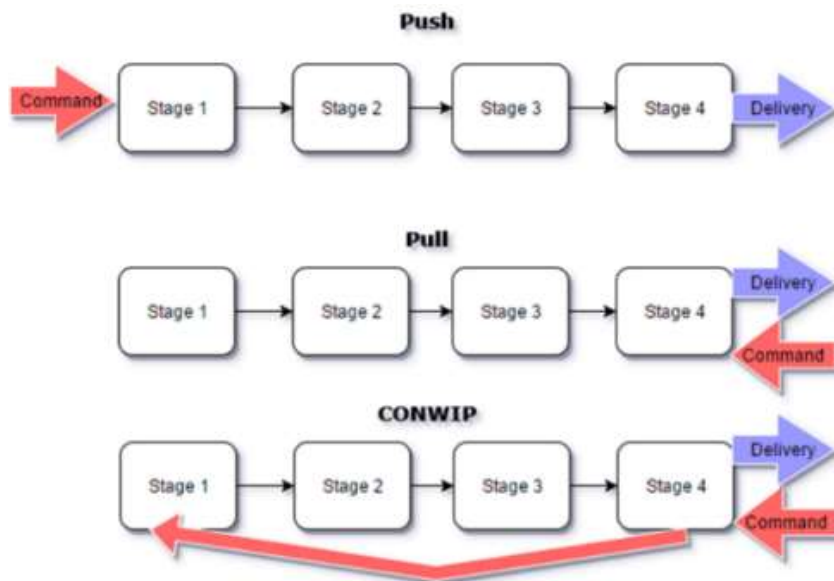


Figura 8 – Comparação entre Push, Pull e CONWIP (Vollmann, 2005).

4.3.4 Work In Process – CAPWIP

O WIP (*Work-in-Progress* ou *work in process*) corresponde ao trabalho em processamento, ou seja, corresponde aos produtos inacabados em processo de produção. Compreende os produtos que estão a ser fabricados, os produtos que se encontram em fila para processamento ou em armazenamento num Buffer. A gestão da produção ótima visa minimizar o trabalho em processo ou em curso de fabrico.

O mecanismo de CAP baseado no WIP, designado CAPWIP é um mecanismo de controlo de produção que foi introduzido como uma tentativa de apresentar um sistema mais flexível que o sistema Kanban. Este diz respeito a qualquer sistema que mantenha, constantemente, o máximo de trabalho em processamento. Funciona, normalmente, com o uso de cartões que estão ligados a um trabalho no início de um sistema. Assim que este trabalho é processado na última estação, o cartão é libertado e reenviado para o início do sistema, onde será conectado ao trabalho que será efetuado de seguida. De realçar que nenhum trabalho pode entrar no sistema sem o seu cartão correspondente. O uso deste mecanismo é considerado mais robusto, flexível e de mais fácil implementação que outros sistemas, o que é importante para as empresas de produção que pretendam controlar os níveis de inventário e, ao mesmo tempo, enfrentar certos ambientes onde o sistema Kanban não funciona da melhor forma. A diferença entre o Conwip e o Capwip, é que o segundo, aplica-se mais no caso da produção por encomenda, dado que o WIP sofre alterações. Quando o sistema Capwip é aplicado é preciso estabelecer uma série de fatores, onde os cinco primeiros pertencem ao nível tático, e o último pertence ao nível do controlo: “(1) quota de

produção, (2) quantidade máxima de trabalho, (3) gatilho da falta de capacidade, (4) como prever a lista de atrasos, (5) número de cartões a operar no sistema, e (6) como ordenar os trabalhos no sistema (Jose M. Framinan, 2003). A decisão mais importante na implementação Capwip é o estabelecimento do número de cartões 8 que operam no sistema (5). Estes cartões dividem-se em dois procedimentos diferentes, o primeiro “cartão de configuração” e o segundo “cartão de controlo”. O primeiro refere-se à procura de um procedimento que permita obter o número de cartões que faz com que o sistema funcione de acordo com as medidas de desempenho pré-definidas, não considerando que o número cartões pode mudar ao longo do cenário analisado. O segundo refere-se ao desenvolvimento de regras que mudam ou mantêm o número corrente de cartões no sistema Capwip.

O Capwip pode ser utilizado de duas formas: para a produção de stock ou para a produção por encomenda (MTO). Na primeira forma, o cartão “é enviado para o início da linha quando um produto acabado é retirado do stock, autorizando a liberação de um novo trabalho de forma a repor stock consumido, contanto que todas as matérias-primas estejam disponíveis” (Mortágua, 2014). Na segunda forma, “além de continuarem a ser os cartões a autorizar produção, existe também uma pre-shop pool onde os trabalhos aguardam o seu lançamento, que indica que artigos ou ordens de fabrico estão à espera de ser lançados em fabrico com informação necessária de processamento” (Mortágua, 2014).

4.3.5 Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization – POLCA

O *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization* (POLCA) introduzido por Suri (1998) é um mecanismo que controla o lançamento e o fluxo de trabalhos no espaço fabril que usa uma combinação de autorizações de libertação e autorizações de produção. O POLCA exige em cada centro de trabalho a criação de uma lista de ordens de produção com uma data associada planeada de libertação. Tal como o TKS e o CONWIP é um mecanismo implementado com cartões mas neste caso são atribuídos a pares de postos ou centros de trabalho ou células sucessivas. Ao contrário do TKS mas como acontece no CONWIP, os cartões são genéricos, ou seja, não são específicos de um tipo de trabalho. Enquanto os cartões *Kanban* funcionam como um sinal de

reposição de existências, os cartões POLCA funcionam como um sinal da capacidade disponível. O POLCA é um mecanismo híbrido que combina características do MRP e do TKS.

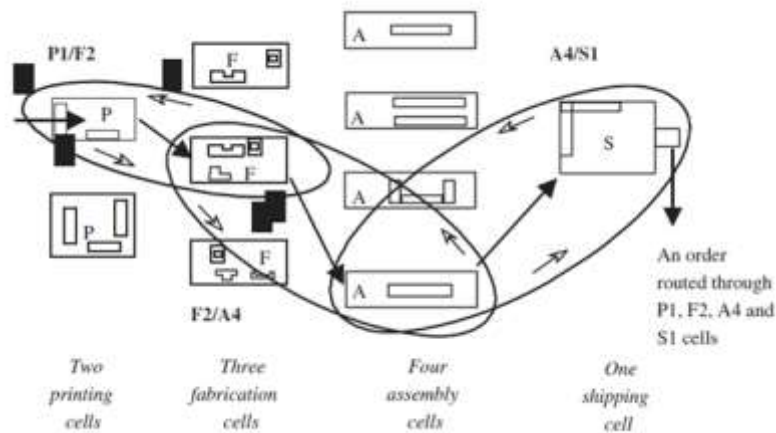


Figure 1- Ilustração do funcionamento de POLCA (Vollmann, 2005).

4.3.6 Generic POLCA – gPOLCA ou GPOLCA

O Generic POLCA - gPOLCA é uma versão do mecanismo POLCA proposta por Fernandes e Silva (2006). A principal diferença é que não precisa de datas de libertação para cada centro de trabalho, condição necessária no POLCA. Este mecanismo representa uma grande evolução no sentido em que consegue tornar os princípios do POLCA apropriados à produção em *job shop* num ambiente de produção por encomenda. Tal como o POLCA, o gPOLCA controla o lançamento de trabalhos para o espaço fabril através de uma combinação de datas de libertação e de autorizações de produção. O gPOLCA pode ser considerado um mecanismo de zero existências pois a reposição de existências ou produtos finais não é permitida.

O gPOLCA usa cartões para controlar a carga ou WIP no espaço fabril. Estes cartões não são específicos de um particular tipo de trabalho ou ordem de produção sendo atribuídos a pares sucessivos de centros de trabalho.

Este mecanismo foi feito com a intenção de ser utilizado para produção por encomenda e onde os cartões são dados a pares de centros de trabalhos e não à linha ou sistema produtivo, como no caso do Capwip.

Um trabalho é lançado em produção quando estiver disponível pelo menos um cartão por cada centro de trabalho para lhe ser alocado. Estes cartões são anexados aos trabalhos na altura do lançamento da produção e acompanham o mesmo durante o processo até alcançarem o centro de trabalho ao qual pertencem. Acabando de ser processado esse trabalho num centro de trabalho, os respetivos cartões são dissociados, ficando desocupados para serem utilizados num

novo trabalho. Não havendo cartões suficientes para a entrada de trabalhos novos, o lançamento fica impedido até que fique disponível o número de cartões necessários.

4.3.7 Comparação dos mecanismos CAPWIP, GKS e GPOLCA

REQUISITOS/MECANISMOS	CAPWIP	GKS	GPOLCA
Controla WIP?	Sim	Sim	Sim
Cartões específicos de produto?	Não	Não	Não
Cartões associados	Sistema	Centro Trabalho	Pares de centros de trabalho
Abordagem	JIT	WLC	WLC

Figure 2- Comparação sumária entre CAPWIP, GKS e GPOLCA.

Mortágua (2014) comparou o GKS, CAPWIP e o Generic POLCA e deduziu que o GKS tem um potencial na aplicação da alta variabilidade na produção MTO, uma vez que para um distinto número de cartões, em ambiente MTO, tem uma percentagem de trabalhos atrasados e o desvio do atraso menor. Frequentemente, o mecanismo que segue o GKS, em termos de resultados, é o GPOLCA, que apresenta melhores resultados que o CAPWIP.

É a forma como os cartões são utilizados que explica estes resultados: o CAPWIP necessita de cartões para toda o processo produtivo do produto em causa, sendo somente libertados no final, assim enquanto a peça estiver a ser feita, mesmo que demore mais tempo que as que estão em espera, tendo em conta o FIFO (*first in, first out*), isso vai aumentar o atraso das peças.

Já o GPOLCA é melhor, pois liberta as peças logo depois de ter feito as operações, no entanto usa pares de cartões, o que faz com que o cartão 1, apenas seja libertado depois da operação 2 ser realizada, no caso do GKS isso acontece antes, mal a operação 1 seja feita, é logo libertado.

5. Bibliografia

Akillioglu, H., Dias-Ferreira, J., & Onori, M. (2015). Characterization of continuous precise workload control and analysis of idleness penalty. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 351-358.

Breithaupt, J.-W., Land, M., & Nyhuis, P. (2003). The workload control concept: theory and practical extensions of Load Oriented Order Release. *Production Planning and Control*.

Burbidge, J. (1990). *Production control: a universal conceptual framework*.

Burbidge, J. L. (1990). Production control: a universal conceptual framework. *Production Planning & Control*, 1(1), 3-16.

Carmo-Silva, S. (2010). Textos de apoio - Gestão da Produção, *Publicação Interna do Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho*.

Chang T. M. & Yih, Y. (1994). Generic kanban systems for dynamic environments, *International Journal of Production Research*, 32:4, 889-902.

Dallery, Y., & Liberopoulos, G. (2000). *Extended kanban control system: combining kanban and base stock*. Paris: Université Pierre et Marie Curie.

Fernandes, N. O., Silva, S. C. - Generic POLCA – a production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. *International Journal of Production Economics*. Vol. 104: nº1 (2006).

Framinan, J. F. (2003). The CONWIP production control system: Review and research issues. *Em Production Planning & Control* (pp. 255-265).

Hopp, W. (2011). *Supply Chain Science*. Waveland Pr Inc.

Junior, L.I.M.A., Filho, G.F. (2008) Adaptações ao sistema kanban: revisão, classificação, análise e avaliação, *Publicação do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil*.

Kingsman, B., & Hendry, L. (2002). The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in Make-To-Order companies. *Production Planning and Control*.

Lopes, J. M. (2010). *Sistema Múltiplo de Apoio à Decisão para a Programação de Sistemas do tipo Job-shop*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

- Lucas, D. J. (2014). Simulação de uma linha de produção com elevada variabilidade: uma abordagem Teoria das Restrições/DBR. Faculdade de Ciências e tecnologia de Lisboa.
- Macedo, P. F. (2014). Sistema CONWIP (Constant Work In Process) . Porto: FEUP.
- Mortágua, J. P. (2014). Estudo de mecanismos de controlo da atividade produtiva baseados em cartões na produção por encomenda. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas, Braga.
- Muris Lage Junior, Moacir Godinho Filho (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal Production Economics*, 1:25, 13-21.
- Nor Azian Abdul Rahman, Sariwati Mohd Sharif, Mashitah Mohamed Esa (2013). Lean Manufacturing Case Study with TKS Implementation.
- Ochoa, Miguel. "The Toyota Production System". 1998.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Rajan Suri (2003) QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century, Center for Quick Response Manufacturing.
- Silva do Carmo, S., & Fernandes, N. O. (s.d.). Generic POLCA-A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing.
- Souza, F. B. (2005). Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos. *Produção*.
- Stevenson, M., Huang, Y., & Hendry, L. (2009). The development and application of an interactive end-user training tool: part of an implementation strategy for workload control. *Production Planning and Control*.
- Sugimori, Y, Kuunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and TKS. Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15:6, 553-564.
- Suri (2003). QRM and POLCA: A winning combination for manufacturing enterprises in the 21st century. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing.
- Thürer, M.; Stevenson, MD; Land, J. M. (2015). On the integration of input and output control: Workload Control order release. *International Journal of Production Economics*.

Vollmann T. E., Berry, W. L. e Whybark, D. C. (2005) "Manufacturing Planning and Control Systems", *McGraw-Hill*.

Lista de siglas e acrónimos

AKS *Adaptative Kanban System*

ATO *Montagem por encomenda (Assemble - to – Order)*

CAP *Controlo da Atividade Produtiva*

CONWIP *Constant Work in Process*

DBR *Drum-Buffer-Rope*

FIFO *Firt in First out*

GKCS *Generalized Kanban Control System*

GKS *Generic Kanban System*

GPOLCA *Generic Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*

JIT *Just In Time*

LIFO *Last In First Out*

MPS *Master Production Scheduling*

MRP *Material Requeriments Planning*

MTO *Produção por Encomenda (Make-to-Order)*

MTS *Produção para Stock (Make-to-Stock)*

POLCA *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*

RP *Recursos de Produção*

SPT *Shortest Processing Time*

TKS *Toyota Kanban System*

TOC *Theory of Constraints*

WIP *Work in Process*

WLC *Workload Control*