



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

Planejamento e controle de produção no contexto da produção sustentável: uma revisão sistemática da literatura

JOÃO ROBERTO SERRÃO DA COSTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

MURIEL DE OLIVEIRA GAVIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

PAULO SERGIO DE ARRUDA IGNACIO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

TÍTULO: Planejamento e controle de produção no contexto da produção sustentável: uma revisão sistemática da literatura.

1. INTRODUÇÃO:

A globalização tem provocado grandes transformações na competitividade, e cada vez mais vem se intensificando, fazendo com que a gestão estratégica das empresas procure novos meios de sobrevivência. Nesse contexto, uma das formas dessas empresas ganharem competitividade é a sustentabilidade, com a redução de custos de produção, melhoria no clima organizacional, otimização dos insumos, imagem positiva perante o consumidor, entre outras.

Nesse mesmo sentido, segundo Pirola, Zambetti e Cimini (2021), a sustentabilidade sempre foi reconhecida como um fator crítico para o futuro de nossa sociedade e o recente avanço no domínio da tecnologia pode ajudar na realização de operações sustentáveis. Com esse objetivo, as práticas e princípios da produção enxuta e da produção sustentável corroboram favoravelmente para a geração de valores focados respectivamente em sustentabilidade econômica e em sustentabilidade ambiental, que se implementados contribuem para a satisfação dos stakeholders, e o cliente sem dúvida é uma parte muito importante.

Nesse contexto, no sentido de manter um equilíbrio saudável entre desempenho ambiental, social e econômico. Portanto, todas as áreas operacionais precisam estar alinhadas ao objetivo da sustentabilidade e com o planejamento e controle da produção não é diferente.

Segundo Trost et al. (2016), o planejamento e controle da produção com base no planejamento hierárquico como modelo impacta na dimensão econômica e também apresenta efeitos na dimensão social e ecológica, que podem gerar economias de custos adicionais e contribuir consideravelmente para a proteção de nossos recursos (em termos sociais e ecológicos), além de um cumprimento oportuno das metas de produção.

Para Zarte, Pechmann e Nunes (2022), abordar metas de sustentabilidade adicionais, como limites de emissões, uso de recursos renováveis e questões sociais, torna o planejamento e controle da produção muito mais trabalhoso e complexo.

O presente estudo, após identificar uma lacuna de revisão da literatura sobre esse tema, viu a importância de apresentar como os pesquisadores em seus estudos tem conectado os aspectos da sustentabilidade ao planejamento e controle da produção. Dessa forma, o artigo tem como objetivo principal apontar os impactos do planejamento e controle de produção no contexto da produção sustentável, e conseqüentemente na sustentabilidade empresarial.

Para esse fim, o tipo de pesquisa utilizada foi a qualitativa de natureza aplicada e de objetivo exploratória. O método adotado consistiu na aplicação de uma revisão sistemática da literatura, buscando por estudos empíricos que apresentassem a relação PCP e sustentabilidade.

Segundo Baumeister (2013), a principal razão é o desejo de sintetizar um corpo de evidências sobre um tópico para alcançar conclusões e implicações robustas e amplas. Para Baumeister & Leary (1997), Cumming (2014), os estudos únicos nunca podem ser definitivos, pois amplia em muito o que qualquer estudo individual pode alcançar, devido reunir os resultados de muitos estudos individuais diferentes, resumindo-os, e descobrindo a consistência.

2. REVISÃO DA LITERATURA:

Essa seção aborda, brevemente, os conceitos de PCP, Sustentabilidade, Desenvolvimento Sustentável e Produção Sustentável.

2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

Primeiramente contextualizaremos o conceito de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. A concepção de desenvolvimento sustentável foi apresentada pela primeira vez em 1987 no relatório *Brundtland* da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU (UNWCED, 1987), onde descreve os vastos problemas ambientais que o planeta enfrenta e propõe uma alteração para uma ação ambiental global.

A partir desse momento o conceito de “desenvolvimento sustentável” passou a fazer parte da agenda política mundial. Portanto, o tema sustentabilidade domina o discurso em relação à proteção ambiental, embora o conceito sustentabilidade tenha um escopo mais amplo que inclui aspectos sociais e econômicos.

Este conceito foi difundido nos meios empresariais com a publicação do livro "*Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*" de Elkington (1999), onde ele apresenta a ampliação do modelo de negócios tradicional, até então focado em fatores econômicos na avaliação de uma empresa, para um novo modelo onde passou a considerar também a performance ambiental e social da companhia além da financeira.

Esse modelo ficou conhecido como *triple bottom line* que é apoiado nas dimensões (1) lucro (financeira), (2) pessoas (social) e (3) planeta (ambiental). A inquietação com a sustentabilidade impulsionou a sociedade a apoiar o desenvolvimento de um número expressivo de práticas corporativas, muitas aplicadas ao negócio de manufatura, como a prevenção da poluição, produção mais limpa, *green supply chain*, entre outras, com a intenção final de apoiar as três dimensões da sustentabilidade mencionadas por Elkington em seu livro citado anteriormente.

Mais recentemente no alinhamento com a preocupação global com o meio-ambiente, foi que em setembro de 2015, o secretário-geral das Nações Unidas, Ban Ki-moon, antes de uma nova agenda para o desenvolvimento sustentável disse, “Temos uma agenda grande e ousada diante de nós - agora devemos trabalhar para torná-la real na vida das pessoas em todos os lugares”.

Nesta ocasião entre 25 a 27 de setembro realizou a histórica cúpula do desenvolvimento sustentável, na Sede da ONU em Nova York, onde líderes mundiais de 193 estados membros das Nações Unidas elaboraram uma nova agenda intitulada "Transformando Nosso Mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável", onde incluiu os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Entretanto, os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da agenda 2030, só entraram oficialmente em vigor em 1º de janeiro de 2016 e dentre esses objetivos se encontra o item 12 - consumo e produção responsáveis associado ao tema dessa pesquisa.

Não é de hoje que os processos industriais estão em constante mudança devido à crescente demanda por customização, competitividade e ao crescimento tecnológico em todo o mundo. Segundo Sinha e Chaturvedi (2021), essas mudanças influenciam em grande medida os pilares ambientais, econômicos e sociais do desenvolvimento sustentável. Para eles, “a produção precisa ser realizada considerando a ótica do desenvolvimento sustentável que deve incluir a tomada de decisão multicritério no planejamento e controle da produção. A inclusão de múltiplos critérios no planejamento é significativa, pois essa inclusão diminui os efeitos danosos nos diferentes pilares do desenvolvimento sustentável”.

2.2 Planejamento e controle da produção (PCP) na visão de sustentabilidade

O planejamento e controle da produção no contexto da globalização já é uma tarefa difícil e inserir a sustentabilidade nesse cenário fica ainda mais complexo. Para Zarte, Pechmann e Nunes (2018), algumas questões ainda precisam ser respondidas para a integração dos aspectos sustentáveis no planejamento e controle da produção, como quais são os níveis de liberdade que podem ser afetados pelo planejamento da produção para aumentar a

sustentabilidade e quais são as oportunidades potenciais para aumentar a sustentabilidade por meio do planejamento da produção.

O conceito de desenvolvimento sustentável é amplamente definido como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”, Brundtland et al. (1987). Esta definição de desenvolvimento sustentável tornou-se muito familiar, enquanto o significado de desenvolvimento sustentável, especialmente para sistemas de manufatura, permaneceu vago. Para Zarte, Pechmann e Nunes 2021, o planejamento e controle da produção é definido como um processo de tomada de decisão para programar a aquisição, utilização e alocação oportuna de recursos de produção (máquinas, mão de obra e insumos de produção) para atividades de produção específicas no curto prazo.

Segundo o World Business Council for Sustainable Development (2008), os requisitos dos clientes para produtos produzidos convencionalmente mudam para produtos produzidos de forma mais sustentável que evitam impactos ambientais e sociais negativos. Nesse sentido, existem várias definições para descrever um estado sustentável em um sistema de manufatura e que precisam ser alcançados com o auxílio de ferramentas de planejamento de produção, Moldavska (2017). Portanto, para Akbar 2018, Giret, Trentesaux e Prabhu (2015), abordar os objetivos de sustentabilidade, como limites de emissões e recursos, o estado de saúde dos funcionários na programação das operações de fabricação, além dos objetivos de produção clássicos para quantidade e qualidade, torna a programação da produção muito mais complexa. Na direção da produção sustentável,

Para Pechmann e Zarte (2017) e Gong et al. (2017) o planejamento e controle da produção (PCP) desempenha um papel importante nas empresas de produção modernas e para os atuais sistemas de gestão da produção é normal considerarem recursos como material, mão de obra e capacidade de produção e seus respectivos custos, mas por outro lado negligenciam o papel da energia e as possibilidades de redução de custos. Para desenvolver uma produção sustentável (em termos econômicos e ambientais), o PCP deve ser ampliado para aspectos energéticos, como demanda de energia e energia renovável disponível, os quais devem ser incluídos no planejamento e monitoramento da produção.

As atuais abordagens de planejamento e programação da produção conscientes do impacto dos custos de energia proporcionam um alinhamento importante para a produção sustentável. No entanto, para Gong et al. (2016), eles tendem a ser estáticos. Se um planejamento encontra eventos estocásticos durante sua execução, por exemplo, falha de máquina e alteração de um pedido de cliente, sua eficácia no custo de energia é suscetível de ser afetada.

Com o advento das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, entre elas as redes inteligentes, o planejamento e programação de produção conectado a eficiência energética surgiu como um método promissor para resposta à demanda industrial. Conforme Gong et al. (2017), os métodos existentes concentram-se apenas na integração do consumo energético aos modelos convencionais de programação de produção, sem considerar o custo do trabalho que varia conforme os turnos e nesse sentido um método para programação de produção com eficiência energética e ciente da mão de obra no nível do processo é fundamental.

2.3 Produção sustentável e *green production*

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), desde meados da década de 1990, e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) têm colaborado para promover a adoção global de Produção Eficiente em Recursos e Mais Limpa (RECP - *Resource Efficient and Cleaner Production*). Segundo a UNIDO (2016), em termos práticos, o RECP implica a aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos ao homem e

ao meio ambiente. O RECP aborda as três dimensões da sustentabilidade de forma individual e sinérgica (Kazmierczyk, 2002; CNTL, 2006):

- a) aumento do desempenho econômico por meio do melhor uso produtivo dos recursos;
- b) proteção ambiental pela conservação de recursos e minimização do impacto da indústria no meio ambiente natural;
- c) aprimoramento social, proporcionando empregos e protegendo o bem-estar dos trabalhadores e das comunidades locais.

A abordagem holística da UNIDO (2016) é uma estratégia preventiva e integrada que é aplicada a todo o ciclo de produção para:

- (a) Aumentar a produtividade garantindo um uso mais eficiente de matérias-primas, energia e água;
- (b) Promover um melhor desempenho ambiental através da redução na fonte de resíduos e emissões;
- (c) Reduzir o impacto ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida através da concepção de produtos ecologicamente corretos, mas com boa relação custo-benefício.

O efeito líquido é dar às empresas dos países em desenvolvimento e em transição uma vantagem mais competitiva, facilitando assim seu acesso aos mercados internacionais.

A abordagem holística da UNIDO inclui sua aplicação em atividades setoriais, bem como a implementação de protocolos ambientais multilaterais por meio do desenvolvimento e transferência de tecnologia de PC e promoção de investimentos.

Em 1992, o Boletim de Produção Mais Limpa da UNEP IE/PAC continha quatro declarações adicionais destinadas a responder à pergunta 'O que é Produção Mais Limpa?', Bass (1995):

- (a) Produção mais Limpa significa a aplicação contínua de um sistema ambiental integrado e estratégia preventiva para processos e produtos para reduzir riscos ao homem e ao meio ambiente;
- (b) As técnicas de Produção mais Limpa incluem a conservação de matérias-primas e energia, eliminando matérias-primas e materiais tóxicos e reduzindo a quantidade e a toxicidade de todas as emissões e resíduos;
- (c) Uma estratégia de Produção mais Limpa para produtos foca na redução dos impactos ambientais em todo o ciclo de vida do produto - desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto;
- (d) A Produção Mais Limpa é alcançada aplicando conhecimentos, melhorando a tecnologia e mudando atitudes.

Um outro olhar da contribuição do PCP é no tocante a reprogramação da produção após uma interrupção que pode ter sido causada por vários fatores e que é uma realidade nas indústrias de manufatura. Segundo Salido et al. (2017) a solução desse problema passa por dar taxas diferentes de velocidade de funcionamento as máquinas de modo a atender aos prazos, concomitantemente com um menor consumo de energia elétrica, desse modo além de atender a satisfação do cliente, também os requisitos de sustentabilidade e produção mais limpa.

Para os apoiadores do *green production* não existe uma única definição. Para Qureshi et al. (2015) o termo *green production* foi inicialmente relacionado a proteção ambiental devido aos resíduos nocivos do processo de fabricação, mas com a evolução tecnologia e conhecimento na área, o termo “*green*” não está mais relacionado apenas aos efeitos ambientais. Já para Melnyk e Smith (1996), definiram *green production* como “um sistema que integra questões de projeto de produto e processo com questões de planejamento e controle de produção de forma a identificar, quantificar, avaliar e gerenciar o fluxo de resíduos ambientais com o objetivo de reduzir e, em última análise, minimizando o impacto ambiental ao mesmo tempo que tenta maximizar a eficiência dos recursos”.

Segundo Zhang, Wang e Liu (2017), a programação da produção contribui muito para otimizar a alocação de processos, reduzir o consumo de recursos e energia, diminuir os custos de produção e aliviar a poluição ambiental. É uma maneira eficaz de progredir em direção à *green production*.

Devido a diversos problemas que o mundo está enfrentando com o aumento do petróleo e do preço da energia, e a consciência cada vez maior em relação ao respeito com o meio ambiente, está se tornando cada dia mais útil para as indústrias ter uma visão clara de como a energia é consumida em seus processos de fabricação, qual é esse custo e como reduzir o consumo ou o custo da energia. Para Gong et al. (2015), no entanto, há pouca literatura investigando a minimização do custo de energia na produção por meio da programação de produção e foi no sentido de ter essa conexão que ele propôs um modelo utilizando a programação linear inteira mista.

3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Segundo a metodologia apresentada por Kitchenham (2004) a revisão sistemática da literatura (RSL) pode ser desenvolvida com base em três etapas que são: Planejar a revisão; Realizar a revisão; e Documentar a revisão. Segundo o mesmo autor, nessas etapas são discutidos os seguintes tópicos:

Planejar a revisão:

Segundo Kitchenham (2004), essa etapa consiste em reconhecer a necessidade da revisão, como seus objetivos, e desenvolver regulamentações da revisão, de modo a apresentar o método de pesquisa, bem como responder as perguntas do objetivo específico da pesquisa, tópico abordado na introdução desse artigo, sendo estes:

- a) quais as principais abordagens do planejamento e controle da produção com foco na produção sustentável;
- b) quais os impactos gerados pelo planejamento e controle da produção com foco na produção sustentável.

Anteriormente realizou-se uma pesquisa de forma a assegurar a inexistência de pesquisas idênticas, assim como garantir a relevância do tema. Com o método escolhido foi seguido a aplicação da abordagem “*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*” (PRISMA) para as seguintes atividades (ver Figura 1); identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

Na sequência, essa diretriz foi convertida em:

- a) Definir as palavras-chave. Estas palavras foram definidas com base em uma pesquisa em vários artigos sobre o tema, identificando quais eram as *Key Words* utilizadas;
- b) Definir as bases de busca de documentos e pesquisas, sendo que nesse critério foi considerado as mais relevantes onde esses artigos são divulgados;
- c) Definir período de pesquisas;
- d) Definir tipos de documentos de pesquisa;
- e) Remover artigos duplicados.
- f) Remover os artigos com textos não disponíveis para baixar;
- g) Realizar a leitura dos resumos dos materiais, selecionando apenas artigos referentes ao tema de pesquisa;
- h) Realizar leitura integral apenas dos artigos relevantes ao tema da pesquisa. As palavras-chaves definidas para a pesquisa foram: (“*Production planning and control*” OR “*production planning*” OR “*production control*”) AND (“*green production*” OR “*sustainable production*” OR “*sustainable manufacturing*” OR “*cleaner production*”).

Para a procura dos documentos utilizados na pesquisa foram selecionadas as bases *Web of Science* e *SCOPUS*. Novamente, a escolha dessas bases se deu em função da relevância que apresentam e à quantidade e qualidade dos documentos disponíveis para acesso. No tocante ao

período de pesquisas, restringiu-se a procura entre os anos de 2012 à 2022, com isso, busca-se avaliar o que os pesquisadores já estariam falando a respeito do tema da pesquisa, sobre produção sustentável e produção mais limpa, alguns anos antes da entrada oficial dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da agenda 2030, que entrou oficialmente em vigor em 1º de janeiro de 2016.

Finalmente, os tipos de documentos selecionados para análise foram restritos a artigos e periódicos de conferência, visto a relevância dos mesmos e contribuição para esta pesquisa.

Realizar e Documentar a revisão:

Dando sequência ao método elaborado por Kitchenham (2004), a próxima etapa consiste em aplicar o protocolo de revisão desenvolvido, selecionar os artigos relevantes ao tema proposto da pesquisa, avaliar sua qualidade, extrair e sintetizar as informações. Seguindo os passos dessa etapa, o protocolo de revisão foi aplicado. Na Tabela 1, são apresentados os resultados da pesquisa e as combinações das palavras-chave com os operadores booleanos “AND” e “OR”.

Tabela 1 - Resultados da primeira etapa da revisão sistemática da literatura.

Palavras chaves	Web of Science	SCOPUS
("Production planning and control" OR "production planning" OR "production control") AND ("green production" OR "sustainable production" OR "sustainable manufacturing" OR "cleaner production")	113	251

Fonte: elaboração própria (2022)

Em seguida, os dados obtidos foram restringidos ao período de pesquisa, tipos de documentos, idioma e acesso aos documentos completos. Com esses critérios aplicados, o total de artigos passaram de 364 para 117, sendo 43 na base *Web of Science* e 74 na base *SCOPUS*. Após essa restrição, os documentos foram exportados para uma planilha Excel para facilitar a análise dos documentos repetitivos. Foram encontrados 38 documentos duplicados entre as bases, sendo que o resultado encontrado após essa avaliação foi: *Web of Science* - 5 e *SCOPUS* - 74, perfazendo um total de 79 artigos.

Antes da transferência desses artigos para análise foi realizado mais um filtro dos artigos sem resumo e palavras chaves disponíveis; *Web of Science* - 2 e *Scopus* 2, totalizando 75 artigos (*WoS* - 3 e *SCOPUS* - 72). Na sequência foi realizado a transferência de dados (download) das bases *Web of Science* e *SCOPUS* para posterior análise no software *Mendeley* visando facilitar a avaliação dos mesmos. Nessa etapa de leitura foram eliminados 63 artigos (*WoS* = 3 e *SCOPUS* = 60) que não estão alinhados ao tema de pesquisa ou disponíveis para leitura integral do título, do resumo e artigo, sobrando 12 artigos a serem analisados.

Por fim, a última etapa da revisão sistemática da literatura consiste em ler todos os artigos e documentar os dados, visando a divulgação dos resultados identificados e contribuições geradas pela pesquisa. Na Tabela 2 são apresentados os resultados finais, ou seja, os 12 artigos lidos para pesquisa.

Tabela 2 - Resultados da leitura integral dos artigos para revisão sistemática da literatura.

Palavras chaves	Web of Science	SCOPUS
("Production planning and control" OR "production planning" OR "production control") AND ("green production" OR "sustainable production" OR "sustainable manufacturing" OR "cleaner production")	0	12

Fonte: elaboração própria (2022)

Adicionalmente aos 12 artigos considerados para a pesquisa, foram incluídas mais 17 fontes entre artigos, livros e sites que foram utilizados para embasamento da introdução e revisão da literatura, conforme apresentado na Tabela 3 e Tabela 3.1.

Tabela 3 – Autores e artigos utilizados na introdução e revisão da literatura

Autores	Artigos / Livros	Citações	Jornals	Fator de Impacto
AKBAR, Muhammad; IROHARA, Takashi	Scheduling for sustainable manufacturing	57	Journal of cleaner production	11072
BAUMEISTER, Roy F	Writing a literature review	152	Livro - The portable mentor	
BAUMEISTER, Roy F.; LEARY, Mark R	Writing narrative literature reviews	1298	Review of general psychology - SAGE journals	4615
BAAS, Leo W.	Cleaner production: beyond projects	87	Journal of Cleaner Production	11072
BRUNDTLAND, Gro Harlem et al.	Our common future	248	Oxford University Press, Oxford, GB, 1987	
CUMMING, Geoff	The new statistics: Why and how	1903	Psychological science	10172
ELKINGTON, John; ROWLANDS, Ian H.	Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business	17610	Alternatives Journal	
GIRET, Adriana; TRENTESAUX, Damien; PRABHU, Vittal	Sustainability in manufacturing operations scheduling: A state of the art review	150	Journal of Manufacturing Systems	9498
AZMIERCZYK, Pawel	Manual on the Development of Cleaner Production Policies—Approaches and Instruments Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes		UNIDO CP Programme	

Fonte: elaboração própria (2022)

Tabela 3.1 – Autores e artigos utilizados na introdução e revisão da literatura

Autores	Artigos / Livros	Citações	Jornals	Fator de Impacto
KITCHENHAM, Barbara	Procedures for performing systematic reviews	6878	Keele, UK, Keele University	
MELNYK, Steven A.; SMITH, Richard T	Green manufacturing	232	Society of Manufacturing Engineers	
MOLDAVSKA, Anastasiia; WELO, Torgei	The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review.	89	Journal of Cleaner Production	11072
PRISMA Group	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. http://www.prismastatement.org/PRISMAStatement/		http://www.prismastatement.org/PRISMAStatement/	
QURESHI, Muhammad Imran et al	Sustainability: A new manufacturing paradigm	58	Jurnal Teknologi	Cite Score 2021 - 1.6
TROST, Marco et al.	Social And Ecological Capabilities For A Sustainable Hierarchical Production Planning	2	https://www.scs-europe.net/dlib/2016/2016-0432.htm	
United Nations Industrial Development Organization:	Resource Efficient and Cleaner Production (RECP)		https://www.unido.org/search?keys=Resource+Efficient+and+Cleaner+Production	
UNEP, United Environmental Program	Guidance Manual: How to establish and operate Cleaner Production Centers		https://open.unido.org/api/documents/4802268/download/UNIDO-	
World Business Council for Sustainable Development	Sustainable Consumption Facts and Trends: The Business Role Focus Area. Available online		https://www.wbcsd.org/Archive/Sustainable-Lifestyles/Resources/Sustainable-consumption-facts-trends	

Fonte: elaboração própria (2022)

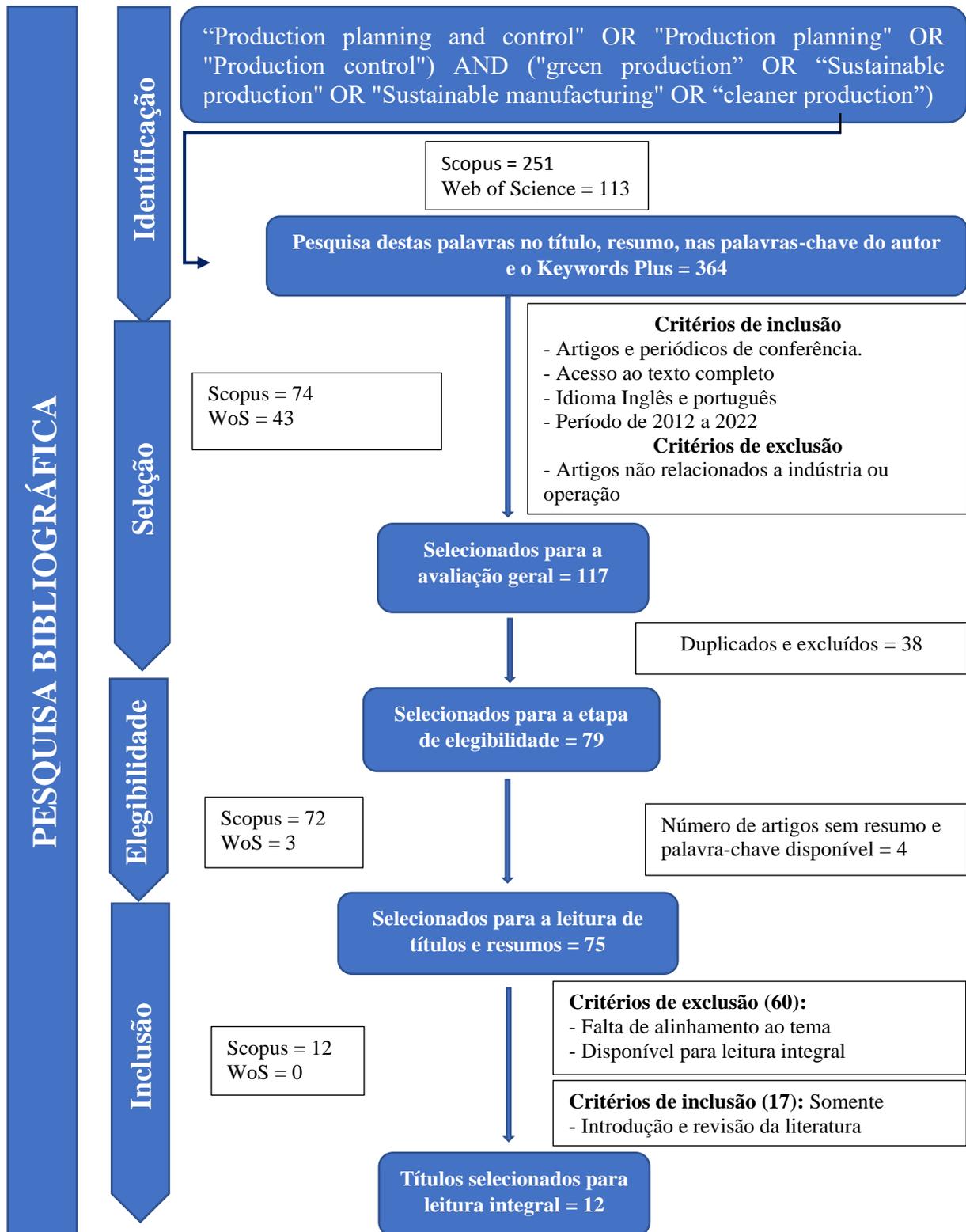


Figura 1 – Processo de pesquisa da revisão sistemática da literatura – Planejamento e controle de produção no contexto da produção sustentável: uma revisão sistemática da literatura.

Fonte: elaboração própria (2022)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiro resultado, procurou-se identificar a tendência de elaboração de artigos ligados ao tema da pesquisa, classificando os artigos da amostra por ano de publicação como

vemos na Figura 2. No período de 10 anos analisados, houve um pico em 2017, com 5 artigos, que pode ter relação com a entrada em vigor em 2016 dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da agenda 2030. Também temos uma queda significativa nos anos 2019 e 2020 que pode ser justificada pelo período crítico da pandemia do COVID 19. No ano de 2021 temos uma recuperação e em 2022 é possível repetir 2021, visto que ainda não terminamos o ano.

Figura 2: Distribuição de amostras por ano

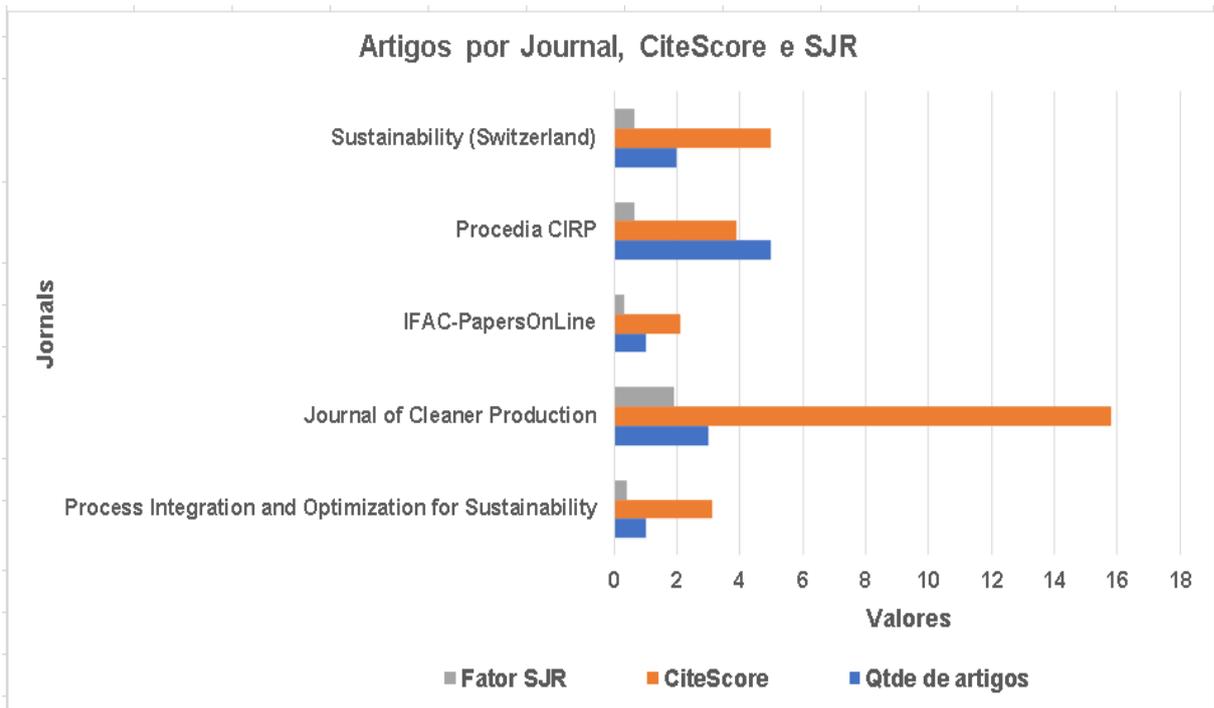


Fonte: elaboração própria (2022)

O próximo item avaliado foram os principais jornais onde estes artigos foram publicados e a conclusão é que o principal jornal é o Procedia CIRP, com 5 dos 12 artigos lidos, sendo o Procedia CIRP um jornal focado inteiramente na publicação de anais de alta qualidade das conferências CIRP (THE INTERNATIONAL ACADEMY FOR PRODUCTION ENGINEERING) e muito conectado aos aspectos de sustentabilidade. Em segundo lugar ficou o Journal of Cleaner Production com 3 artigos, como vemos na Figura 3.

Nesta mesma análise foi incluído o índice SJR que atribui a cada periódico um valor. O SCImago Journal Rank (SJR), desenvolvido pela Elsevier, é um índice bibliométrico que mostra a influência de um determinado periódico contido no banco de dados da Scopus®. Essa medição é feita com base na média do número de citações recebidas nos últimos 3 anos anteriores ao ano analisado e que são ponderadas dependendo da área do conhecimento e do prestígio do periódico. O indicador CiteScore, um indicador novo também desenvolvido pela Scopus®, mede a relação de citações que um artigo recebe dentro da base. Ele é calculado com base na contagem de todas as citações recebidas por uma publicação em um ano, dividido por todas as publicações realizadas nesse periódico nos três anos anteriores ao ano calculado.

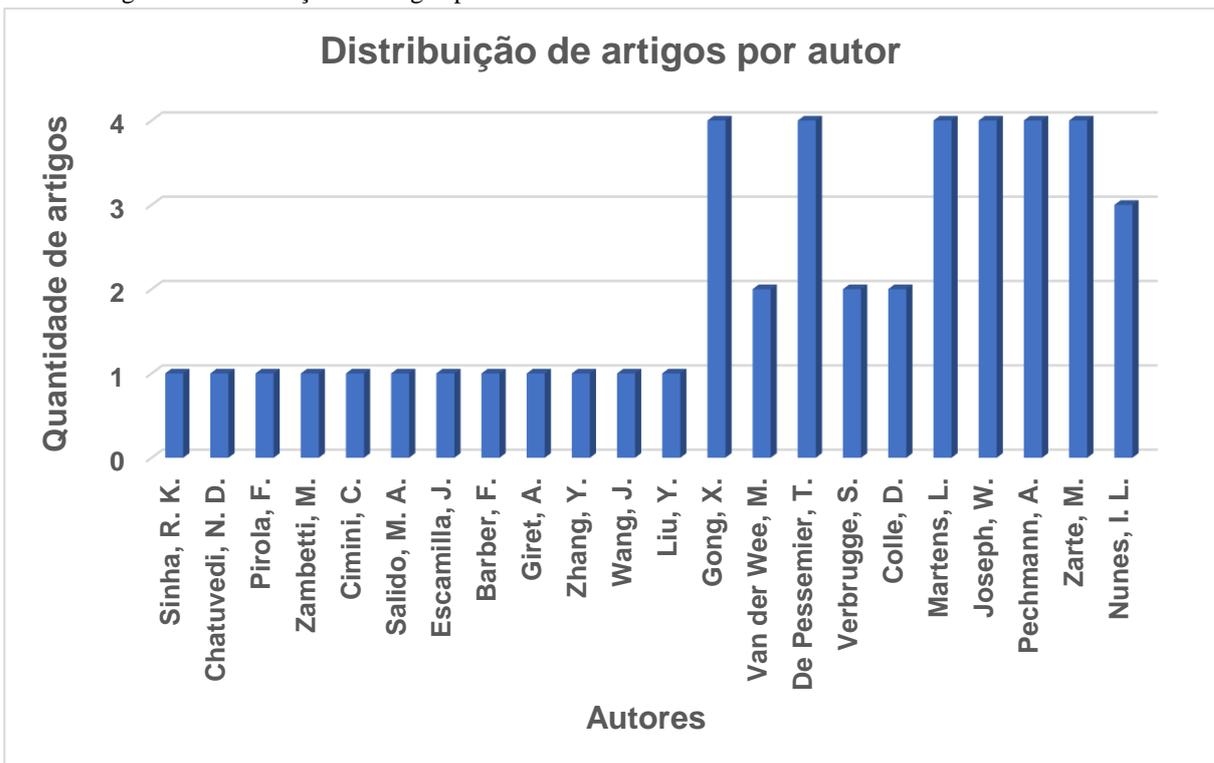
Figura 3: Quantidade de artigos e indicadores por jornais



Fonte: elaboração própria (2022)

Uma outra avaliação realizada foi com relação aos autores que mais escrevem sobre esse tema e que tem impactado outros autores. Nesse sentido, seis autores se destacam que são Gong, Van der Wee, De Pessemier, Martens, Joseph, Pechmann e Zarte, todos com 4 publicações. Na sequência vem Nunes com 3 artigos como podemos ver na Figura 4.

Figura 4: Distribuição de artigos por autor



Fonte: elaboração própria (2022)

Com relação aos artigos lidos por completo conclui-se que a pesquisa teve sucesso ao responder os objetivos específicos da pesquisa. Com relação aos impactos nos pilares de sustentabilidade provenientes das ações do PCP, como observado na Tabela 4, 11 dos 12 artigos lidos, mostram impacto do PCP em custo e meio ambiente. Isso significa que uma grande preocupação do PCP ao incluir a sustentabilidade na sua abordagem é reduzir a utilização dos insumos e conseqüentemente o seu custo.

No tocante ao impacto em custo e no pilar ambiental, o principal item abordado pelo PCP é a energia elétrica, com 7 dos 12 artigos ou 58%, mas há também abordagens com impacto em produtividade e redução de setup de máquinas. A maior concentração das ações está conectada com a energia elétrica, pois se tem uma maior facilidade em correlacionar o consumo de energia aos produtos produzidos, pois essas informações estão disponíveis em muitas empresas, visto que para se fazer o dimensionamento do consumo de energia é necessário saber onde é utilizado e quanto é consumido.

Já com relação a parte ambiental, além da energia elétrica, temos também com menor foco o controle de gases de efeito estufa, água e efluentes, isso se deve logicamente a uma maior dificuldade de obter esse tipo de informação, ou seja, correlacionar o consumo com a utilização das máquinas e equipamentos e com a produção como resultado final.

Com relação ao pilar social, somente 2 artigos dos 12, 17%, correlacionaram impactos do PCP a esse pilar. Os impactos foram com relação a satisfação do cliente e saúde e segurança dos funcionários. Apesar de poucos artigos fazerem essa conexão, pode-se considerar que o planejamento da produção sendo atendido nos prazos estabelecidos com o menor custo, conseqüentemente a satisfação do cliente também é atendida, embora não se tenham mencionado esse aspecto.

A abordagem mais utilizada pelo PCP conectada com os pilares da sustentabilidade é a lógica Fuzzy, com 30%, onde se procurou alinhar as necessidades de entrega da área aos objetivos de sustentabilidade da empresa. A lógica Fuzzy é um conjunto de regras e funções que por meio de modelagem matemática lida muito bem com problemas reais onde informações imprecisas e incertas estão presentes, gerando respostas e conclusões adequadas.

Nos demais artigos são utilizadas diversas abordagens como métodos heurísticos com modelagem estocástica, programação linear inteira mista, simulação em softwares como o ARENA, o PREmdek e a metodologia TOPSIS. Essa correlação entre os impactos nos pilares da sustentabilidade e as abordagens do PCP estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Relação dos impactos no pilares da sustentabilidade x abordagem do PCP

Autores	Título do artigo	Impactos nos pilares da sustentabilidade			Metodologias utilizadas pelo PCP
		Social	Ambiental	Econômico	
Sinha, RK; Chaturvedi, ND	Multi-criteria Decision-making in Carbon-Constrained Scenario for Sustainable Production Planning		Gases de efeito estufa (emissão de Co2)		Utilização da metodologia TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) na decisão multicritério para classificação de novas rotas de processo no planejamento da produção
Pirola F., Zambetti M., Cimini C.	Applying simulation for sustainable production scheduling: A case study in the textile industry			Custo e Lucro (redução do setup e aumento de produtividade)	Utilização de software de simulação, ARENA, para determinar o melhor sequenciamento do planejamento da produção.
Salido M.A., Escamilla J., Barber F., Giret A.	Rescheduling in job-shop problems for sustainable manufacturing systems	Satisfação do cliente	Energia Eletrica	Custo	Utilização de técnicas para gerenciar a reprogramação da produção, de modo que o resultado atenda as necessidades do cliente com a solução energeticamente mais eficiente.
Zhang Y., Wang J., Liu Y.	Game theory based real-time multi-objective flexible job shop scheduling considering environmental impact		Energia Eletrica	Custo	Utilizado um modelo dinâmico de teoria dos jogos e um método de escalonamento de duas camadas para lidar com problemas de otimização multiobjetivo em tempo real, reduzindo a complexidade do problema MO-FJSS (multi-objective flexible job shop scheduling).
Gong X., De Pessemer T., Martens L., Joseph W.	An energy-cost-aware scheduling methodology for sustainable Manufacturing		Energia Eletrica	Custo	Utilização de modelo de programação linear inteira mista para realizar a programação de produção consciente do custo de energia
	A Stochasticity Handling Heuristic in Energy-cost-aware Scheduling for Sustainable Production		Energia Eletrica	Custo	Modelo que considera o método heurístico com modelagem estocastica no planejamento da produção o consumo de energia e seu custo.
Gong X., Van der Wee M., De Pessemer T., Verbrugge S., Colle D., Martens L., Joseph W.	Integrating labor awareness to energy-efficient production scheduling under real-time electricity pricing: An empirical study		Energia Eletrica	Custo (Energia e mão-de-bra)	Utilizado um método de otimização matemático baseado em um algoritmo genético para programação de produção energeticamente eficiente e integrado a utilização da mão de obra.
	Energy- and Labor-aware Production Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Case Study on Plastic Bottle Manufacturing		Energia Eletrica	Custo (Energia e mão-de-bra)	Utilização de modelo de programação linear inteira mista para realizar a programação de produção consciente do custo de energia
Pechmann A., Zarte M.	Procedure for Generating a Basis for PPC Systems to Schedule the Production Considering Energy Demand and Available Renewable Energy		Energia Eletrica	Custo	Conecta o planejamento da produção ao planejamento de consumo de energia utilizando o simulador PREmdek para essa simulação.
Zarte M., Pechmann A., Nunes I.L.	Sustainable Evaluation of Production Programs Using a Fuzzy Inference Model - A Concept		Gases efeito estufa, energia, resíduos, emissões de efluentes	Custo	Utilizado a lógica fuzzy para avaliar o planejamento e controle da produção segundo critérios de sustentabilidade.
	Fuzzy inference model for decision support in sustainable production planning processes—a case study		Energia elétrica, água e insumos auxiliares.	Custo	Utilizado a lógica fuzzy para avaliar o planejamento e controle da produção segundo critérios de sustentabilidade.
	Problems, Needs, and Challenges of a Sustainability-Based Production Planning	Saúde e segurança dos funcionários	Resíduos e efluentes de produção	Custo	Utilização de lógica fuzzy para sistemas de apoio à decisão para manufatura sustentável, conectando aos processos e programação e controle da produção.

Fonte: elaboração própria (2022)

5. CONCLUSÕES

Esse artigo teve como objetivo apontar os impactos do planejamento e controle de produção no contexto da produção sustentável, e consequentemente na sustentabilidade empresarial.

Para tanto foi conduzida uma pesquisa qualitativa de natureza aplicada e de objetivo exploratória. O método adotado consistiu na aplicação de uma revisão sistemática da literatura, buscando por estudos empíricos que apresentassem a relação PCP e sustentabilidade.

Este artigo contribui no entendimento de que a junção dos pilares da sustentabilidade ao planejamento e controle da produção requer uma maturidade da empresa com relação a coleta e disponibilidade de informações de consumo de energia elétrica, água, resíduos e emissão de efluentes, gás efeito estufa, entre outros, e que estejam correlacionados a fabricação e aos produtos fabricados. Essa correlação não é simples e requer esforço por parte da empresa.

As limitações desta revisão sistemática de literatura são as seguintes: Primeiramente foram considerados para análise somente artigos divulgados nos últimos 10 anos e que correlacionassem os impactos do PCP na sustentabilidade em indústrias. Em seguida, o processo de revisão sistemática da literatura está sujeito ao vies dos pesquisadores nas etapas de extração e análise dos resultados. E por fim, essa revisão, se restringiu a análise exclusivamente aos periódicos da base *Web of Science e Scopus*, onde exclui-se buscas em fontes não indexadas, anais de congressos, capítulos de livros e artigos em língua não inglesa e em português, onde todos estes podem conter resultados que podem ser importantes.

Por outro lado, para trabalhos futuros, mostra uma grande oportunidade de pesquisa em expandir o pilar ambiental para outras fontes além da energia elétrica, além do pilar social, muito pouco explorado e analisado.

REFERÊNCIAS

AKBAR, Muhammad; IROHARA, Takashi. Scheduling for sustainable manufacturing: A review. **Journal of cleaner production**, v. 205, p. 866-883, 2018.

BAUMEISTER, Roy F. Writing a literature review. **The portable mentor**, p. 119-132, 2013.

BAUMEISTER, Roy F.; LEARY, Mark R. Writing narrative literature reviews. **Review of general psychology**, v. 1, n. 3, p. 311-320, 1997.

BAAS, Leo W. Cleaner production: beyond projects. *Journal of Cleaner Production*, v. 3, n. 1-2, p. 55-59, 1995.

BRUNDTLAND, Gro Harlem et al. **Our common future**. Oxford University Press, Oxford, GB, 1987.

CUMMING, Geoff. The new statistics: Why and how. **Psychological science**, v. 25, n. 1, p. 7-29, 2014.

ELKINGTON, John; ROWLANDS, Ian H. Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. **Alternatives Journal**, v. 25, n. 4, p. 42, 1999.

GIRET, Adriana; TRENTESAUX, Damien; PRABHU, Vittal. Sustainability in manufacturing operations scheduling: A state of the art review. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 37, p. 126-140, 2015.

GONG, Xu et al. An energy-cost-aware scheduling methodology for sustainable manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 185-190, 2015.

GONG, Xu et al. A stochasticity handling heuristic in energy-cost-aware scheduling for sustainable production. **Procedia CIRP**, v. 48, p. 108-113, 2016.

GONG, Xu et al. Integrating labor awareness to energy-efficient production scheduling under real-time electricity pricing: An empirical study. **Journal of cleaner production**, v. 168, p. 239-253, 2017.

GONG, Xu et al. Energy-and labor-aware production scheduling for sustainable manufacturing: A case study on plastic bottle manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 61, p. 387-392, 2017.

KAZMIERCZYK, Pawel. Manual on the Development of Cleaner Production Policies— Approaches and Instruments Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes, UNIDO CP Programme. 2002.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.

MELNYK, Steven A.; SMITH, Richard T. **Green manufacturing**. Computer Automated Systems of the Society of Manufacturing Engineers, 1996.

MOLDAVSKA, Anastasiia; WELO, Torgeir. The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 744-755, 2017.

PECHMANN, Agnes; ZARTE, Maximilian. Procedure for generating a basis for PPC systems to schedule the production considering energy demand and available renewable energy. **Procedia CIRP**, v. 64, p. 393-398, 2017.

PIROLA, Fabiana; ZAMBETTI, Michela; CIMINI, Chiara. Applying simulation for sustainable production scheduling: a case study in the textile industry. **IFAC-PapersOnLine**, v. 54, n. 1, p. 373-378, 2021.

PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. (s.l.): University of Ottawa/Oxford University, 2015. Disponível em: <http://www.prismastatement.org/PRISMAStatement/>. Acesso em: 06 de julho de 2022

QURESHI, Muhammad Imran et al. Sustainability: A new manufacturing paradigm. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 22, 2015.

SALIDO, Miguel A. et al. Rescheduling in job-shop problems for sustainable manufacturing systems. **Journal of cleaner production**, v. 162, p. S121-S132, 2017.

SINHA, Rakesh Kumar; CHATURVEDI, Nitin Dutt. Multi-criteria Decision-making in Carbon-Constrained Scenario for Sustainable Production Planning. **Process Integration and Optimization for Sustainability**, v. 5, n. 4, p. 905-917, 2021.

TROST, Marco et al. Social And Ecological Capabilities For A Sustainable Hierarchical Production Planning. In: **ECMS**. 2016. p. 432-438.

UNIDO, Resource Efficient and Cleaner Production (RECP).
<https://www.unido.org/search?keys=Resource+Efficient+and+Cleaner+Production> Acesso em: 06 de julho 2022

UNEP, United Environmental Program, Guidance Manual: How to establish and operate Cleaner Production Centers.
<https://open.unido.org/api/documents/4802268/download/UNIDO-> Acesso em: 06 de julho de 2022.

ZARTE, Maximilian; PECHMANN, Agnes; NUNES, Isabel L. Fuzzy Inference model for decision support in sustainable production planning processes—a case study. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1355, 2021.

ZARTE, Maximilian; PECHMANN, Agnes; NUNES, Isabel L. Sustainable Evaluation of Production Programs Using A Fuzzy Inference Model—A Concept. *Procedia CIRP*, v. 73, p. 241-246, 2018.

ZARTE, Maximilian; PECHMANN, Agnes; NUNES, Isabel L. Problems, Needs, and Challenges of a Sustainability-Based Production Planning. *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 4092, 2022.

ZHANG, Yingfeng; WANG, Jin; LIU, Yang. Game theory based real-time multi-objective flexible job shop scheduling considering environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, v. 167, p. 665-679, 2017.

World Business Council for Sustainable Development. Sustainable Consumption Facts and Trends From a Business Perspective (2008): Available online: <https://www.wbcsd.org/Archive/Sustainable-Lifestyles/Resources/Sustainable-consumption-facts-trends> (Acesso em: 06 de julho de 2022)