



RELISE

IMPACTOS DA SUSTENTABILIDADE NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO¹

Jéssica Bruna Perussi²

Bianca Tasso Afonso³

Izabel Zattar⁴

Robson Seleme⁵

RESUMO

Devido os impactos ambientais provocados pelas indústrias, aumento e desperdício de recursos materiais, minerais e energéticos, bem como sua escassez, despertaram o interesse da população e dos órgãos políticos e ambientais para a preservação do meio ambiente. Em meio a este cenário, a produção e desenvolvimento sustentáveis passam a ter maior notoriedade, impactando diretamente nas estratégias e diretrizes de diversas organizações. Uma das áreas afetadas por estas mudanças é o planejamento e controle da produção (PCP), que passa a ter de desenvolver novas soluções e adaptar-se à produção sustentável. Por esta razão, o artigo em questão tem como objetivo avaliar os impactos da sustentabilidade no PCP. O método para tal consiste na realização de uma revisão sistemática de pesquisas que contemplem estudos de caso abordando o assunto e apresentando possíveis problemas e soluções para situações que envolvem a sustentabilidade nas operações manufatureiras. As buscas pelos documentos foram realizadas nas bases Web of Science, SCOPUS e ScienceDirect, e utilizou-se uma combinação de palavras-chave que representam sustentabilidade e planejamento e controle da produção. Um total de 47 pesquisas de estudos de caso foram analisadas integralmente, tendo sido identificada como principal abordagem sustentável a área de Energia. Os resultados das análises apontam como principais mudanças no PCP a redução no consumo de energia, emissão de gases e custos, aumento da rentabilidade, otimização no uso de máquinas, estratégias nas atividades de produção e produto.

¹ Recebido em 18/09/2019.

² Universidade Federal do Paraná. jessicabrunaperussi@hotmail.com

³ Universidade Federal do Paraná. biancatassiafonso@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Paraná. izabel.zattar@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Paraná. robsonseleme@hotmail.com



RELISE

49

Palavras-chave: manufatura sustentável, planejamento e controle da produção, produção sustentável, produção “verde”, sustentabilidade.

ABSTRACT

Due to the environmental impacts caused by the industries, increase and waste of material, mineral and energy resources, as well as their shortage, have aroused the interest of the population and the political and environmental organs environment preservation. In the midst of this scenario, sustainable production and development are becoming more prominent, impacting directly on the strategies and guidelines of various organizations. One of the areas affected by these changes is production planning and control (PPC), which has to develop new solutions and adapt to sustainable production. For this reason, this article aims to assess the impacts of sustainability on the PPC. The method for this is to conduct a systematic review of researches that contemplate case studies addressing the subject and presenting possible problems and solutions for situations that involve sustainability in manufacturing operations. Document searches were conducted at the Web of Science, SCOPUS and ScienceDirect databases, and a combination of keywords representing sustainability and production planning and control was used. A total of 47 case studies researches were fully analyzed, being identified as the main sustainable approach the Energy area. The results of the analyses point to the main changes in the PCP the reduction in energy consumption, gases emission and costs, increase of profitability, optimization in the use of machines, strategies in production and product activities.

Keywords: green production, production planning and control, sustainable manufacturing, sustainable production, sustainability.

INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, a preocupação com o meio ambiente e o uso de recursos vêm aumentando, grande parte em decorrência das tendências industriais e globalização dos mercados (TSAI; LAI, 2018). Como consequência, diversas ações e medidas vêm sendo tomadas, resultando no desenvolvimento de novas tecnologias com aplicação em diversas áreas e serviços, sendo uma destas a área de manufatura (TSAI; LU, 2018). Ainda de acordo com os autores, estas tecnologias – denominadas tecnologias verdes -,



RELISE

50

vêm sendo amplamente exploradas e aplicadas no intuito de melhorar as operações e garantir desenvolvimentos mais sustentáveis.

Aplicada à área de manufatura, a sustentabilidade faz parte de um dos três principais componentes que sustentam as operações manufatureiras (economia, meio ambiente e pessoas), (TROST et al., 2016). Aliado ao aumento da pressão externa advinda de clientes, autoridades políticas e órgãos ambientais internacionais, as organizações estão tendo de adaptar seus processos produtivos e operações para torná-los mais sustentáveis, impactando diretamente no planejamento e controle da produção (PCP), (TROST et al., 2016). Em complemento Tsai and Lai (2018) e Papetti et al. (2018) destacam que o interesse no aproveitamento de recursos e preservação do meio ambiente apresenta-se como um dos fatores de sucesso e competitividade para as organizações. Segundo Rödger *et al* (2018), é mais provável que empresas sustentáveis se mantenham mais rentáveis a longo prazo.

Desta forma, após pesquisas e identificação de lacunas em trabalhos já existentes e publicados, esta pesquisa tem como intuito avaliar os impactos (positivos e negativos) da produção sustentável no planejamento e controle da produção de empresas de manufatura. As perguntas de pesquisa às quais se deseja responder são:

- Quais as principais abordagens sustentáveis relacionadas ao planejamento e controle da produção?
- Quais os impactos gerados pela produção sustentável no planejamento e controle da produção?

Para tanto, o método adotado consistiu na aplicação de uma revisão sistemática da literatura, buscando por estudos aplicados (estudos de caso) que abordassem o tema desta pesquisa.



RELISE

51

REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão da literatura da pesquisa em questão irá abordar, brevemente, os conceitos do PCP e apresentará como a sustentabilidade vem ganhando espaço no PCP.

Planejamento e controle da produção (PCP)

Segundo Slack (2017), o planejamento e controle da produção (PCP) envolvem o conjunto de atividades de programação, coordenação e organização das tarefas de operação, integrando as demandas de produção com o propósito de satisfazer as demandas dos clientes, operando de maneira contínua – sem que haja falhas ou interrupções desnecessárias de produção. O PCP é responsável pelo monitoramento e pelas ações corretivas para que a produção seja realizada de acordo com as especificações dos produtos e serviços das organizações (QIAO; SCHLENOFF; WEISS, 2017).

O planejamento e controle da produção são definidos como garantia da realização dos objetivos logísticos, como controle de vencimento de prazos, planejamento de um baixo lead time, elevado aproveitamento de capacidade e baixos níveis de material em processamento, garantindo os níveis de qualidade e produtividade (BENDUL; KNOLLMANN, 2016).

Os sistemas de planejamento e controle da produção são sistemas que visam conciliar operações de produção à habilidade de alcançar melhorias no desempenho, com um baixo custo. Estes sistemas otimizam a alocação de recursos produtivos e fornecem uma resposta rápida às mudanças de demanda da produção (PRODUCTION; PRODUCTION, 2017).

PCP e sustentabilidade

Manufatura é definida como “a transformação de materiais, energia e informação em bens de satisfação para as necessidades humanas. Os



RELISE

processos de manufatura podem utilizar um ou mais mecanismos físicos ou químicos de transformação de materiais, formas ou propriedades” (TROST et al., 2016).

O termo “Manufatura sustentável” é definido por Trentesaux e Prabhu (2014) como um conjunto de soluções técnicas e estratégicas adotadas por uma indústria com o intuito de contribuir para a implementação de métodos, práticas e novas tecnologias para enfrentar problemas como a escassez de recursos e matéria-prima, bem como para atuar na redução dos impactos causados pelas operações produtivas.

A aplicação de novas técnicas e estratégias na produção, haja visto a escassez de recursos e preocupação crescente com a preservação do meio ambiente, tem impacto direto no PCP pois, conforme já apresentado, é a área responsável por planejar e monitorar a produção, objetivando otimizar sistema de produção de uma indústria (TROST et al., 2016).

Com relação às mudanças realizadas buscando uma produção mais sustentável, já está comprovado que a otimização da produção é capaz de reduzir o descarte de resíduos em diversas indústrias, bem como gerar redução no consumo de água, energia e reuso da água (DAI et al., 2013; ZHOU ET AL., 2017). A redução na emissão de carbono por meio da redução no consumo de energia também tem ganhado notoriedade, refletindo diretamente nas operações e aplicação de novas tecnologias em máquinas mais sustentáveis (WANG et al., 2018).

Segundo Trentesaux e Prabhu (2014), existem três pilares em um ambiente de produção a serem trabalhados que contribuem para a promoção de um ambiente mais sustentável em empresas de manufatura, sendo estes: 1) redução no consumo de energia, identificada como um dos principais fatores de uma produção sustentável; 2) redução de resíduos, desperdícios de recursos e na poluição gerados nas fases operacionais da produção e 3)



RELISE

53

superdimensionamento de produção e utilização de espaços para atendimento de uma demanda muito menor do que a real capacidade de produção das indústrias, o que pode levar a uma redução de consumos energéticos e de recursos.

Entretanto, implementar uma produção mais sustentável em indústrias de manufatura exige comprometimento e empenho de todos os envolvidos, principalmente no que diz respeito ao PCP. Por esta razão, existem seis atitudes apresentadas por Boons (2002) que têm por finalidade a redução dos efeitos negativos no meio ambiente da produção de determinado produto, sendo estas: a) reduzir a quantidade de material utilizado; b) procurar materiais alternativos com menor impacto ambiental; c) reciclar materiais que constituem o produto; d) substituir produtos originais por outros que desempenham a mesma função; e) reciclar o produto; e f) eliminar a produção de produtos com baixa ou nenhuma utilização.

Em complemento a estas atitudes – propostas em 2002, mas que ainda se apresentam atuais – a tecnologia ganha espaço e contribui para a implementação das mesmas (TSAI; LAI, 2018). Reforça que a indústria 4.0 também tem papel fundamental para o PCP no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, rentabilidade e competitividade.

METODOLOGIA

Visando a busca de pesquisas que contemplem os temas de planejamento e controle da produção e sustentabilidade e, posteriormente, identificação daqueles relevantes ao objetivo proposto neste estudo, a metodologia adotada consistiu na realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).



RELISE

54

Para Budgen e Brereton (2006), a RSL é uma das principais ferramentas utilizadas para se responder perguntas de pesquisas, tendo por base documentos científicos de grande relevância.

Por esta razão, a escolha da utilização da RSL se deu pelo fato de se tratar de uma ferramenta para identificar, pesquisar e analisar documentos e pesquisas relacionadas a determinado tema (KITCHENHAM, 2004). Nesta pesquisa, a RSL foi desenvolvida tendo por base as três etapas apresentadas (KITCHENHAM, 2004): Planejar a revisão; Realizar a revisão; e Documentar a revisão.

Planejar a revisão

A etapa de planejamento da revisão da literatura (KITCHENHAM, 2004) consiste em identificar a necessidade da revisão – perguntas de pesquisa, objetivos -, e desenvolver um protocolo de revisão, visando especificar o método de pesquisa utilizado e o passo a passo realizado.

A necessidade em se realizar a revisão proposta nesta pesquisa, bem como a pergunta de pesquisa, já foi abordada anteriormente neste artigo – tópico de Introdução -, sendo esta a de identificar os impactos da sustentabilidade no planejamento e controle da produção. Previamente realizou-se uma pesquisa assegurando a inexistência de pesquisas idênticas, bem como para garantir a relevância do tema. Em seguida, definiu-se entre os autores o protocolo de revisão a ser seguido, sendo este:

- a) Definir as palavras-chave;
- b) Definir as bases de busca de documentos e pesquisas;
- c) Definir período de pesquisas;
- d) Definir tipos de documentos de pesquisa;
- e) Remover artigos duplicados;



RELISE

55

f) Realizar a leitura dos resumos dos materiais, selecionando apenas estudos de caso aplicados à Manufatura;

g) Realizar leitura integral dos artigos selecionados na etapa anterior, mantendo apenas aqueles relevantes ao tema desta pesquisa.

As palavras-chave definidas para a pesquisa foram: 1) *Production planning and control*, 2) *Production planning*, 3) *Production control*, 4) *Sustainability*, 5) *Sustainable development*, 6) *Sustainable production*, 7) *Environmental*, 8) *Sustainable manufacturing*.

Para a procura das pesquisas e documentos foram selecionadas as seguintes bases: *Web of Science*, *ScienceDirect* e SCOPUS. Estas foram selecionadas devido à relevância que apresentam e à quantidade de documentos de alta qualidade disponíveis para acesso. Com relação ao período de pesquisas, restringiu-se a procura entre os anos de 2013 e 2018, sendo a escolha realizada com o intuito de obter as pesquisas mais recentes sobre o tema, bem como os impactos tecnológicos e soluções propostas. Por fim, os tipos de documentos selecionados para análise foram restritos a artigos e documentos de conferência, visto a relevância dos mesmos e contribuição para esta pesquisa.

Realizar e documentar a revisão

A segunda etapa consiste (KITCHENHAM, 2004) em aplicar o protocolo de revisão desenvolvido, selecionar os estudos relevantes ao tema para a pesquisa, avaliando a qualidade dos mesmos, extrair e sintetizar os dados verificados.

Seguindo os estágios desta 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”.



RELISE

56

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

Palavras-chave	Web of Science	SCOPUS	ScienceDirect
"Production planning and control" OR "Production planning" OR "Production control" AND "Sustainability" OR "Sustainable development" OR "Sustainable production" OR "Environmental" OR "Sustainable manufacturing"	243	371	149

Fonte: os Autores (2018).

Em seguida, os dados obtidos foram exportados para o software Mendeley visando facilitar a extração dos dados. Antes de iniciar a análise, as pesquisas duplicadas foram removidas, restando a seguinte quantidade de artigos: Web of Science – 42 artigos; SCOPUS – 261 artigos e ScienceDirect – 144 artigos.

Para estes artigos realizou-se a leitura completa dos resumos, eliminado aqueles que em desacordo com o tema da pesquisa: impactos da sustentabilidade no planejamento e controle da produção na manufatura, analisando apenas estudos de caso.

O total de artigos identificados foi de: Web of Science – 12 artigos; SCOPUS – 55 artigos e ScienceDirect – 30 artigos. Em seguida, a leitura integral dos artigos foi realizada e o total de artigos selecionados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da leitura integral dos artigos. Fonte: os Autores (2018).

Palavras-chave	Web of Science	SCOPUS	ScienceDirect
"Production planning and control" OR "Production planning" OR "Production control" AND "Sustainability" OR "Sustainable development" OR "Sustainable production" OR "Environmental" OR "Sustainable manufacturing"	6	24	17

Fonte: os Autores (2018).

Por fim, a terceira etapa da revisão sistemática da literatura consiste em documentar os dados, visando a disseminação dos resultados encontrados e contribuições geradas pela pesquisa.



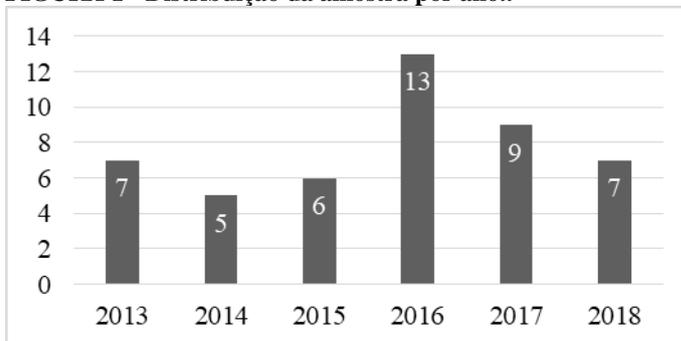
RELISE

57

RESULTADOS

Como primeiro resultado, procurou-se identificar a tendência no interesse de desenvolvimento do assunto abordado, classificando os artigos da amostra de acordo com ano de publicação (Figura 1). Nos períodos analisados, observou-se que o ano de 2016 se sobressai com o maior número de estudos de casos na manufatura direcionados ao planejamento e controle da produção com uma abordagem sustentável, com 13 publicações.

FIGURA 1 - Distribuição da amostra por ano..



Fonte: os Autores (2018).

Uma das razões que justificam o aumento no número de pesquisas no ano de 2016 é o Acordo de Paris firmado entre os 195 países membros da ONU (Organização das Nações Unidas) em 12 de dezembro de 2015, que visa a adoção de práticas para controlar o aumento da temperatura da Terra (TSAI; LAI, 2018). Mesmo com a queda nas pesquisas nos anos de 2017 e 2018, o tema ainda se mostra bastante atual e, ainda segundo os autores, além do Acordo, a pressão social sobre as empresas e governos, exigindo mudanças e maior preservação do meio ambiente, contribui para o aumento de pesquisas e estudos buscando maior desenvolvimento e soluções.

Para cada artigo verificado foi identificada qual a abordagem sustentável aplicada. A partir dos resultados ilustrados na Figura 2, verifica-se que a maior produção de estudos está voltada a questão energética. Dos 47 artigos 27 possuem Energia como a principal abordagem sustentável, o que



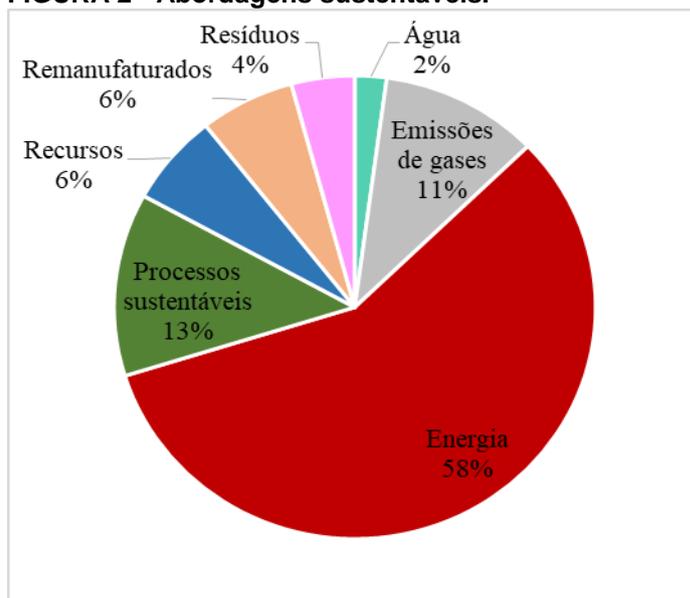
RELISE

58

representa 58% da amostra, sendo 26 com objetivos direcionados à eficiência energética e um à energia renovável.

O resultado encontrado é reforçado pelo consumo elevado de energia por indústrias de manufatura, representando mais de um terço do consumo mundial (LIU et al., 2013; GONG et al., 2015; PLITSOS et al., 2017). Além do alto nível de consumo, há um interesse competitivo em melhorar a eficiência energética e, principalmente, reduzir custos de produção em até 20% (MARZOUK; ELMARAGHY; ELMARAGHY, 2016).

FIGURA 2 - Abordagens sustentáveis.



Fonte: os Autores (2018).

Dentre as ferramentas utilizadas nos artigos que possuem Energia como abordagem sustentável estão: desenvolvimento de modelos matemáticos, utilização de modelos matemáticos já existentes, *Internet of Things*, *Machine Learning*, Diagrama de Pareto, Desenvolvimento de um modelo de planejamento estratégico, Modelo de cadeia de Markov, Modelo de programação linear, Modelo de programação linear inteira mista, *Decision Support System*, Simulação discreta de evento, ANOVA, Algoritmo Genético, Simulação integrada e Heurísticas. O uso de diversas ferramentas demonstra a



RELISE

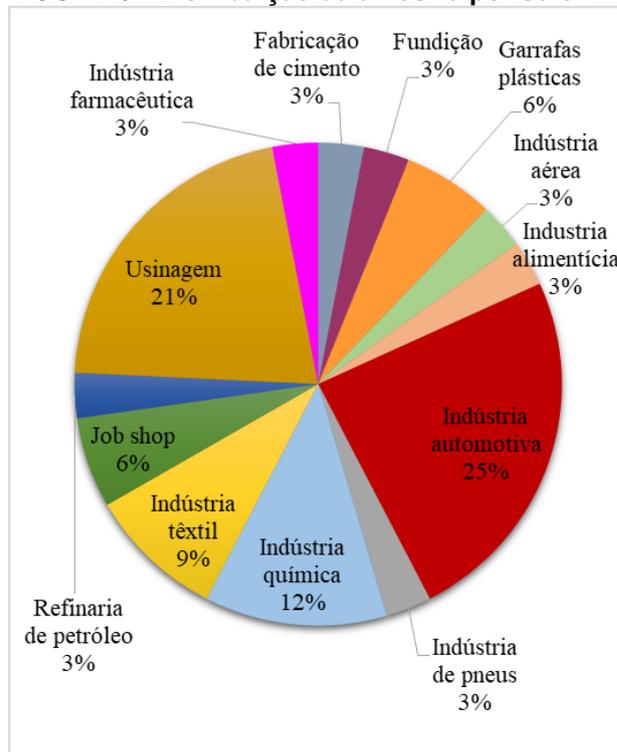
abrangência de técnicas existentes para alcançar, de forma generalizada, o mesmo propósito.

Na sequência, com uma representativa menor, os Processos sustentáveis e Emissão de gases, apresentam-se como as principais abordagens sustentáveis, com 13% e 11% respectivamente.

Processos sustentáveis, de acordo com Krotscheck e Narodslawsky (1996), envolve planejar, controlar, manter, projetar e auxiliar a tomada de decisão com diretrizes voltadas à Sustentabilidade. São processos voltados a atender a demanda com viabilidade econômica e sustentável.

Analisando os empregos na manufatura, a indústria automotiva é a que possui maior número de aplicações sustentáveis, possuindo 25% dos estudos de caso relatados, seguido da usinagem com 21% e a indústria química com 12% dos estudos.

FIGURA 3 - Distribuição da amostra por setor.



Fonte: os Autores (2018).



RELISE

60

Com relação à distribuição dos artigos selecionados nesta pesquisa por periódico de publicação, foram identificados 28 periódicos com publicações abordando o tema proposto. Sendo o periódico *Journal of Cleaner Production* de maior destaque, com 11 publicações, seguido, com valores inferiores, dos periódicos *Procedia CIRP*, com 5 publicações, e *CIRP Annals*, com 3 publicações.

Tabela 3 - Número de publicações por periódicos

Periódico	Número de publicações
Journal of Cleaner Production	11
Procedia CIRP	5
CIRP Annals	3
Computers & Operations Research	2
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2
International Journal of Production Economics	2
Outros	22

Fonte: os Autores (2018).

Após a leitura dos artigos que compõem a amostra, foram identificados seis principais impactos relatados pelos autores.

Tabela 4 - Impactos sustentáveis

Impactos sustentáveis	Autores / Ano
Redução no consumo de energia	(LIU; ZHANG; LU, 2015); (WANG; LI; LIU, 2013); (LIU et al., 2016); (GONG et al., 2016); (GONG et al., 2015); (LIU et al., 2013); (BLEICHER et al., 2014); (MARZOUK; ELMARAGHY; ELMARAGHY, 2016); (GONG et al., 2017); (TEIWES et al., 2018); (KELLER; REINHART, 2016); (CONFALONIERI et al., 2016); (PLITSOS et al., 2017); (DAI et al., 2014); (UPTON; QUILLIGAN, 2014); (WANG et al., 2018); (BORNSCHLEGL; BREGULLA; FRANKE, 2016); (FYSIKOPOULOS et al., 2014); (SU; YANG; LIU, 2017); (LIU et al., 2015); (ZHANG et al., 2018).
Redução na emissão de gases	(BLEICHER et al., 2014); (RAGER; GAHM; DENZ, 2015); (GESSAPERERA; SANCHA-DIONISIO; EXPÓSITO, 2017); (SU; YANG; LIU, 2017).
Redução de custos / Aumento da rentabilidade	(TSAI; LU, 2018); (GONG et al., 2015); (DIAZ-ELSAYED et al., 2013); (GAUR; AMINI; RAO, 2017); (RAGER; GAHM; DENZ, 2015); (KWAK; KIM, 2017); (BORNSCHLEGL; BREGULLA; FRANKE, 2016).
Otimização no uso de máquinas	(LIU; ZHANG; LU, 2015); (WANG; LI; LIU, 2013); (GONG et al., 2016); (GONG et al., 2015); (LIU et al., 2013); (MARZOUK; ELMARAGHY; ELMARAGHY, 2016); (TEIWES et al., 2018); (VERHAEGHE et al., 1973)(DAI et al., 2013); (BORNSCHLEGL; BREGULLA; FRANKE, 2016); (FYSIKOPOULOS et al., 2014); (LI et al., 2015).



RELISE

Estratégia nas atividades de produção	(TSAI; LU, 2018); (LIU; ZHANG; LU, 2015); (GAUR; AMINI; RAO, 2017); (SUCIC et al., 2016); (SALAMA; GALAL; ELSAYED, 2015); (MARZOUK; ELMARAGHY; ELMARAGHY, 2016); (GONG et al., 2017); (TEIWES et al., 2018); (KELLER; REINHART, 2016); (PLITSOS et al., 2017); (DAI et al., 2013); (MEISEL; KIRSCHSTEIN; BIERWIRTH, 2013); (RERAT; PAPADOKONSTANTAKIS; HUNGERBÜHLER, 2013); (RÖDGER et al., 2018); (SU; YANG; LIU, 2017); (JHA; BOSE; NGAI, 2016); (CHARI et al., 2016); (VADERA; GUDI, 2013); (ZHOU et al., 2017); (ZHANG et al., 2018).
Produto	(RÖDGER et al., 2018); (FYSIKOPOULOS et al., 2014); (GESSA-PERERA; SANCHA-DIONISIO; EXPÓSITO, 2017); (JHA; BOSE; NGAI, 2016); (CHARI et al., 2016).

Fonte: os Autores (2018).

Após identificados os impactos, observou-se a relação dos mesmos com o que é apresentado na segunda seção desta pesquisa. Todos os três pilares de Trentesaux e Prabhu (2014) foram identificados por meio dos impactos de redução no consumo de energia – apresentado pelos autores como um dos principais fatores de uma produção sustentável; em seguida, por meio da redução na emissão de gases que são gerados ao longo da cadeia produtiva; e por fim, a otimização no uso de máquinas – feito através do correto agendamento da produção – e uso de novas estratégias que permitem otimizar a produção e utilização de espaço.

Com relação ao impacto no produto, como também apresentado por Boons (2002), estes podem ser diversos: redução na quantidade de material utilizado; uso de materiais alternativos de menor impacto ambiental; reciclagem de materiais que constituem o produto ou do produto como um todo; substituição dos produtos originais por outros que desempenham a mesma função; e encerramento da produção de produtos com baixa ou nenhuma utilização. Tsai e Lai (2018) também reforçam a redução no uso de matérias-primas, além de reutilização das mesmas e reciclagem de materiais.

A redução de custos e aumento da rentabilidade torna-se consequência das ações e práticas adotadas em cada um dos impactos citados anteriormente.



RELISE

62

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em questão teve como objetivo analisar os impactos da sustentabilidade no planejamento e controle da produção em indústrias de manufatura e quais as principais abordagens sustentáveis das pesquisas, sendo as perguntas desta pesquisa:

Quais as principais abordagens sustentáveis relacionadas ao planejamento e controle da produção?;

Quais os impactos gerados pela produção sustentável no planejamento e controle da produção?.

Para isto realizou-se uma revisão sistemática da literatura nas seguintes bases de pesquisa: Web of Science, SCOPUS e ScienceDirect. A pesquisa foi direcionada a artigos de sustentabilidade e PCP, resultando na seleção de 47 estudos de caso para leitura integral do conteúdo.

A partir da leitura integral dos artigos observou-se o crescente interesse das organizações em tornarem seus processos mais sustentáveis. Dentre as motivações para tal, as que mais se destacam são: competitividade, pressão social, política e de órgãos ambientais, redução de custos e escassez de recursos naturais.

Dentre as diversas abordagens sustentáveis identificadas durante a análise dos artigos, 58% destas está aplicada à Energia. Este resultado reforça a importância desta abordagem na promoção de um ambiente produtivo mais sustentável, conforme apresentado na revisão da literatura deste artigo. Além disso, demonstra a crescente preocupação em fazer uso consciente e eficiente dos recursos energéticos existentes, buscando isso através da otimização de máquinas e processos e de agendamentos da produção mais eficientes.

Em seguida, com menor abrangência, as principais abordagens sustentáveis são Processos sustentáveis e Emissão de gases, com 13% e 11%



RELISE

63

respectivamente. A redução na emissão de gases e poluentes ao meio ambiente tem relação direta com a redução no consumo de energia, ou seja, soluções empregadas em uma destas áreas geram impactos positivos em outra.

Os principais impactos observados foram a redução no consumo de energia, redução na emissão de gases, redução de custos/aumento da rentabilidade, otimização no uso de máquinas, estratégias nas atividades de produção e produto. Dentre as mudanças verificadas nas pesquisas analisadas, a principal está relacionada ao agendamento da produção, que busca otimizar o uso das máquinas para realizar seu desligamento planejado. Outras mudanças também recorrentes estão relacionadas ao produto, por meio de mudanças de material, reciclagem e parada na produção de produtos com pouco ou nenhum giro de mercado e aplicação de ferramentas como o value stream map, por exemplo, para a construção de processos de produção mais sustentáveis.

Para trabalhos futuros recomenda-se verificar os impactos da sustentabilidade no planejamento de produção em outros setores da indústria, visto que esta pesquisa abrange apenas estudos de caso em indústrias de manufatura. Outra proposta seria de avaliar de que forma as ferramentas da indústria 4.0 estão sendo aplicadas ao PCP na busca de uma produção mais sustentável.

REFERÊNCIAS

BENDUL, J.; KNOLLMANN, M. The Lead Time Syndrome of Manufacturing Control: Comparison of Two Independent Research Approaches. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 81–86, 2016.

BLEICHER, F. et al. Co-simulation environment for optimizing energy efficiency in production systems. **CIRP Annals**, v. 63, n. 1, p. 441–444, 2014.



RELISE

64

BOONS, F. Greening products: A framework for product chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 5, p. 495–505, 2002.

BORNSCHLEGL, M.; BREGULLA, M.; FRANKE, J. Methods-Energy Measurement – An approach for sustainable energy planning of manufacturing technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 644–656, 2016.

BUDGEN, D.; BRERETON, P. Performing systematic literature reviews in software engineering. **Proceeding of the 28th international conference on Software engineering - ICSE '06**, p. 1051, 2006.

CHARI, N. et al. Production planning in the presence of remanufactured spare components: an application in the airline industry. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 87, n. 1–4, p. 957–968, 2016.

CONFALONIERI, M. et al. **An AI based decision support system for preventive maintenance and production optimization in energy intensive manufacturing plants**. 2015 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation/ International Technology Management Conference, ICE/ITMC 2015. **Anais...**2016

DAI, M. et al. Energy-efficient scheduling for a flexible flow shop using an improved genetic-simulated annealing algorithm. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 5, p. 418–429, 2013.

DAI, M. et al. **Energy-aware scheduling model and optimization for a flexible flow shop problem**. 26th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2014. **Anais...**2014

DIAZ-ELSAIED, N. et al. Assessment of lean and green strategies by simulation of manufacturing systems in discrete production environments. **CIRP Annals**, v. 62, n. 1, p. 475–478, 2013.

FYSIKOPOULOS, A. et al. On a generalized approach to manufacturing energy efficiency. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 73, n. 9–12, p. 1437–1452, 2014.

GAUR, J.; AMINI, M.; RAO, A. K. Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model. **Omega**, v. 66, p. 212–223, 2017.

GESSA-PERERA, A.; SANCHA-DIONISIO, M.-P.; EXPÓSITO, I. G.-.



RELISE

65

Opportunities for waste recovery to improve the carbon footprint in the Spanish cement industry under a cap and trade system: Insights from a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3665–3675, 2017.

GONG, X. et al. **An energy-cost-aware scheduling methodology for sustainable Manufacturing**. *Procedia CIRP. Anais...*2015

GONG, X. et al. **A power data driven energy-cost-aware production scheduling method for sustainable manufacturing at the unit process level**. IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA. *Anais...*2016

GONG, X. et al. **Energy- and Labor-aware Production Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Case Study on Plastic Bottle Manufacturing**. *Procedia CIRP. Anais...*2017

JHA, A. K.; BOSE, I.; NGAI, E. W. T. Platform based innovation: The case of Bosch India. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 250–265, 2016.

KELLER, F.; REINHART, G. **Energy Supply Orientation in Production Planning Systems**. (Seliger, G and Kohl, H and Mallon, J, Ed.)13TH GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING - DECOUPLING GROWTH FROM RESOURCE USE. *Anais...*: *Procedia CIRP*.2016

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **British Journal of Management**, v. 0, n. 0, p. 1–28, 2004.

KROTSCHECK, C.; NARODOSLAWSKY, M. The Sustainable Process Index a new dimension in ecological evaluation. **Ecological Engineering**, v. 6, n. 4, p. 241–258, 1996.

KWAK, M.; KIM, H. Green profit maximization through integrated pricing and production planning for a line of new and remanufactured products. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3454–3470, 2017.

LI, Y. et al. **Stochastic energy opportunity windows in advanced manufacturing systems**. ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2015. *Anais...*2015

LIU, N.; ZHANG, Y. F.; LU, W. F. A hybrid approach to energy consumption modelling based on cutting power: A milling case. **Journal of Cleaner**



RELISE

Production, v. 104, p. 264–272, 2015.

LIU, Y. et al. An investigation into minimising total energy consumption, total energy cost and total tardiness based on a rolling blackout policy in a job shop. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 397, n. PART 1, p. 103–110, 2013.

LIU, Y. et al. Reducing environmental impact of production during a Rolling Blackout policy – A multi-objective schedule optimisation approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 418–427, 2015.

LIU, Y. et al. A multi-objective genetic algorithm for optimisation of energy consumption and shop floor production performance. **International Journal of Production Economics**, v. 179, p. 259–272, 2016.

MARZOUK, A. M.; ELMARAGHY, H. A.; ELMARAGHY, W. H. **Effect of Changing Operating Policies on Energy Use Consumption**. *Procedia CIRP. Anais...2016*

MEISEL, F.; KIRSCHSTEIN, T.; BIERWIRTH, C. Integrated production and intermodal transportation planning in large scale production–distribution-networks. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 60, p. 62–78, 2013.

PAPETTI, A. et al. Web-based platform for eco-sustainable supply chain management. **Sustainable Production and Consumption**, v. 17, p. 215–228, 2018.

PLITSOS, S. et al. Energy-aware decision support for production scheduling. **Decision Support Systems**, v. 93, p. 88–97, 2017.
PRODUCTION, C.; PRODUCTION, C. Postprint. p. 693–701, 2017.

QIAO, G.; SCHLENOFF, C.; WEISS, B. A. **Quick positional health assessment for industrial robot prognostics and health management (PHM)**. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. Anais...2017*

RAGER, M.; GAHM, C.; DENZ, F. Energy-oriented scheduling based on Evolutionary Algorithms. **Computers & Operations Research**, v. 54, p. 218–231, 2015.

RERAT, C.; PAPADOKONSTANTAKIS, S.; HUNGERBÜHLER, K. Integrated



RELISE

67

waste management in batch chemical industry based on multi-objective optimization. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 63, n. 3, p. 349–366, 2013.

RÖDGER, J.-M. et al. Life cycle targets applied in highly automated car body manufacturing – Method and algorithm. **Journal of Cleaner Production**, v. 194, p. 786–799, 2018.

SALAMA, H. A.; GALAL, N. M.; ELSAYED, A. E. **Eco-efficiency for sustainable manufacturing planning decisions with applications to auto parts industry**. Proceedings - CIE 45: 2015 International Conference on Computers and Industrial Engineering. **Anais...2015**

SLACK. Postprint. p. 693–701, 2017.

SU, Q.; YANG, W.; LIU, Y. Optimization of carbon emission considering production planning at enterprise level. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 635–645, 2017.

SUCIC, B. et al. Context sensitive production planning and energy management approach in energy intensive industries. **Energy**, v. 108, p. 63–73, 2016.

TEIWES, H. et al. **Energy Load Profile Analysis on Machine Level**. Procedia CIRP. **Anais...2018**

TRENTESAUX, D.; PRABHU, V. Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: Stakes, Approaches and Trends. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 439, n. PART 2, p. 106–113, 2014.

TROST, M. et al. Social and ecological capabilities for a sustainable hierarchical production planning. **Proceedings - 30th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2016**, v. 2, n. Cd, p. 432–438, 2016.

TSAI, W.-H.; LU, Y.-H. A framework of production planning and control with carbon tax under industry 4.0. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 9, 2018.

TSAI, W. H.; LAI, S. Y. Green production planning and control model with ABC under industry 4.0 for the paper industry. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 8, 2018.

UPTON, C.; QUILLIGAN, F. **GREYBOX scheduling: Designing a joint cognitive system for sustainable manufacturing**. Conference on Human



RELISE

68

Factors in Computing Systems - Proceedings. **Anais...**2014

VADERA, D.; GUDI, R. D. **Scheduling incorporating waste management using decomposition approaches**. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). **Anais...**2013

VERHAEGHE, M. et al. Le Triplet Diagnostique Cyto Radio Clinique Dans Les Tumeurs Du Sein (a Propos De 2460 Observations). **Lille Medical**, v. 18, n. 7, p. 790–797, 1973.

WANG, J.-F.; LI, S.-Q.; LIU, J.-H. **A multi-granularity model for energy consumption simulation and control of discrete manufacturing system**. 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management: Assistive Technology of Industrial Engineering. **Anais...**2013

WANG, W. et al. IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 31, n. 4–5, p. 362–379, 2018.

ZHANG, Y. et al. The ‘Internet of Things’ enabled real-time scheduling for remanufacturing of automobile engines. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 562–575, 2018.

ZHOU, L. et al. Study on optimizing production scheduling for water-saving in textile dyeing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 721–727, 2017.