UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FELIPE DO CARMO SILVA

UTILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PRODUÇÃO ENXUTA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA EXTRAÇÃO DE AREIA

JUIZ DE FORA
2023

FELIPE DO CARMO SILVA

UTILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PRODUÇÃO ENXUTA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA EXTRAÇÃO DE AREIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Bruno Milanez

JUIZ DE FORA

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva, Felipe do Carmo.
Utilização da Produção mais Limpa e Produção Enxuta para aumento da eficiência na extração de areia. / Felipe do Carmo Silva. -- 2023.
62 f.

Orientador: Bruno Milanez
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2023.

1. Extração de areia. 2. Produção mais Limpa. 3. Produção Enxuta. I. Milanez, Bruno, orient. II. Título.

FELIPE DO CARMO SILVA

UTILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PRODUÇÃO ENXUTA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA EXTRAÇÃO DE AREIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 06 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc., Bruno Milanez (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

D. Sc., Clarice Breviglieri Porto

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

D. Sc., Roberta Cavalcanti Pereira Nunes

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Elena e Manoel, por não pouparem esforços para que eu conseguisse concluir esta etapa. Sem a ajuda de vocês, a jornada teria sido muito mais difícil.

Agradeço a minha noiva, Julia, pelo apoio e por não ter deixado, nem por um momento, que eu desistisse.

Ao meu orientador, o professor Bruno, pela paciência, dedicação, correções e incentivos no processo de conclusão deste trabalho.

Às professoras que aceitaram participar da banca, Roberta e Clarice, e deram conselhos valiosos para aprimorar o trabalho.

A todos os professores e demais pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha formação.

E a Deus por me conceder saúde e por colocar em minha vida pessoas notáveis que me apoiaram em toda a minha jornada até o fim.

Muito obrigado.

RESUMO

A mineração é uma importante atividade econômica brasileira e geradora de muitos empregos, contudo é também danosa ao meio ambiente e à sociedade ao seu entorno. A extração de areia também compartilha dos pontos positivos e negativos da mineração. O objetivo deste trabalho é, através da revisão bibliográfica e análise documental dos conceitos de Produção Enxuta e Produção mais Limpa, de forma conjunta, buscar melhorias no processo de extração de areia a fim de diminuir os impactos ambientais que a atividade causa e propor boas práticas para o processo de mineração. Os resultados obtidos mostraram que os conceitos estudados possuem ferramentas que podem ser incorporadas na extração de areia e amenizar os impactos inerentes à atividade.

Palavras-chave: Extração de areia, Produção Enxuta, Produção mais Limpa.

ABSTRACT

Mining is an important Brazilian economic activity and generates many jobs, but it is also harmful to the environment and society around it. Sand extraction also shares the strengths and weaknesses of mining. The objective of this work is, through a bibliographic review and document analysis of the concepts of Lean Production and Cleaner Production, jointly, to seek improvements in the sand extraction process to reduce the environmental impacts that the activity causes and to propose good practices for the mining process. The results obtained showed that the studied concepts have tools that can be incorporated into sand extraction and mitigate the impacts inherent to the activity.

Keywords: Sand extraction, Lean Production, Cleaner Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ótica hierárquica da Produção mais Limpa. 17
Figura 2 - Abordagem tradicional vs abordagem enxuta. 21
Figura 3 - Etapas do MFV. 24
Figura 4 - Modelo de kanban de produção. 25
Figura 5 - Reservas minerais das 11 principais substâncias metálicas. 33
Figura 6 - Participação no valor da produção mineral comercializada, ano base 2019. 34
Figura 7 - Produção Mineral Brasileira de 2015 a 2019. 34
Figura 8 - Número de minas/unidades produtoras por Estado. 35
Figura 9 - Quantidade de minas/unidades produtoras por substância. 36
Figura 10 - Produção dos agregados da construção civil. 38
Figura 11 - Modelo de desmonte hidráulico. 41
Figura 12 - Modelo de dragagem hidráulica fixa e móvel. 44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fim-de-tubo x P+L 16
Quadro 2 - Dificuldades para implementação da P+L. 19
Quadro 3 - Desperdícios da produção enxuta. 22
Quadro 4 - 5S. 26
Quadro 5 - Desperdícios da PE e seus impactos ambientais. 30
Quadro 6 - Impactos ambientais causados em cada fase de implementação da extração de areia. 46
Quadro 7 - Impactos ambientais por fase do empreendimento e soluções segundo PE e P+L. 51

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção

ANM - Agência Nacional de Mineração

APP - Área de Preservação Permanente

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CFEM - Compensação Financeira pela Exploração Mineral

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

ELAW - *Environmental Law Alliance Worldwide*

EPA - *Environmental Protection Agency*

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

MFV - Mapeamento do Fluxo de Valor

MME - Ministério de Minas e Energia

P+L - Produção mais Limpa

PE - Produção Enxuta

PIB - Produto Interno Bruto

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RAL - Relatório Anual de Lavra

STP - Sistema Toyota de Produção

TPS - *Toyota Production System*

TRF - Troca Rápida de Ferramentas

UNEP - *United Nations Environment Programme*

WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*

WIP - *Work in Progress*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **10**

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 10
1.2 JUSTIFICATIVA 10
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 11
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 12
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 12
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 13

2. PRODUÇÃO ENXUTA E A PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO FERRAMENTAS PARA ELIMINAR OS DESPERDÍCIOS **14**

2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L) 14
2.2 PRODUÇÃO ENXUTA 20
2.3 FAMILIARIDADES DOS CONCEITOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PRODUÇÃO ENXUTA 28

3 MINERAÇÃO NO BRASIL E A RELEVÂNCIA DA EXTRAÇÃO DE AREIA **32**

3.1 UM PANORAMA GERAL DA MINERAÇÃO 32
3.2 A IMPORTÂNCIA DA AREIA NO CENÁRIO BRASILEIRO 36

4 EXTRAÇÃO E LAVRA: DE ONDE VEM A AREIA? **40**

4.1 DESMONTE HIDRÁULICO 40
4.2 DRAGAGEM HIDRÁULICA EM LEITOS SUBMERSOS 42
4.3 A RELAÇÃO ENTRE O MEIO AMBIENTE E A EXPLORAÇÃO DA AREIA 45
4.4 CONTRIBUIÇÕES DA PE E P+L PARA MELHORAR O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE AREIA 50

5 CONCLUSÃO **54**

REFERÊNCIAS **56**

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE **61**

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A mineração é considerada uma atividade causadora de impactos ambientais adversos. Contudo, gera, também, um crescimento socioeconômico da população adjacente (NOBRE FILHO *et al.*, 2012). Para Farias (2002, p. 03 *apud* Vieira, 2015)[1], o aproveitamento e a busca dos recursos naturais têm íntima ligação com a história do Brasil, que sempre contribuiu com insumos para a economia nacional.

A extração de areia dos rios, enquadrada como uma atividade de mineração, é causadora de impactos negativos ao meio ambiente, tais como, desmatamento da mata ciliar, compactação do solo e a poluição do ar devido à queima de combustíveis fósseis pela circulação de máquinas e caminhões, contaminação do solo e da água, entre outros (SOUZA, 2020). Além desses impactos ambientais negativos, os desperdícios de insumos e do próprio produto, que podem ser indícios de um processo ineficiente, acarretam, também, em impactos econômicos negativos.

O presente trabalho busca a ligação entre os conceitos de Produção Mais Limpa, observando como cada processo pode se tornar mais limpo e mais eficiente do ponto de vista do uso dos recursos naturais, e Produção Enxuta, produzir com o menor desperdício possível, para que, juntos, possam contribuir para se reduzir os impactos ambientais que a atividade de extração de areia gera e melhorar o desempenho econômico das empresas do setor.

1.2 JUSTIFICATIVA

As pequenas e médias minerações compõem 95% das empresas do setor mineral brasileiro (VIEIRA, 2014). Segundo Mancin (2012), a sociedade relaciona a mineração a poucas grandes empresas desse setor e ignora as pequenas que, estima-se, são mais de 8.000 em operação no Brasil, explorando os mais diversos tipos de minerais. Dessas, cerca de 2.000 são de lavra de areia (MME, 2009).

Geralmente a ocorrência dessas mineradoras de areia não ocorrem em centros urbanos muito densos, mas também em distâncias não superiores a 300 km desses centros devido ao

---

[1] FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Mineração e meio ambiente no Brasil. Relatório Preparatório para o CCGE/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PNUD. Contrato 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>.

custo de transporte (IBRAM, 2020). Como no caso da região de Juiz de Fora, as mineradoras se localizam, em sua grande maioria, em localidades mais afastadas ou pequenos municípios dentro desse raio, como por exemplo Goianá, Rio Novo e Piau, ficando, muita das vezes, longe do alcance científico e tornando-se quase "invisíveis" para propostas de melhorias em suas atividades.

A mineração é uma atividade essencial para a manutenção das sociedades modernas. Seus produtos estão presentes nas paredes das casas e construções, nos telefones celulares, na água mineral e até mesmo na pasta de dente. E para que todos tenham acesso a esses bens é preciso a ação das mineradoras. Essa relevância, entretanto, não deve ser encarada como uma licença para operar livremente e, devido aos impactos negativos que suas atividades causam sobre sociedade e meio ambiente, essas empresas precisam levar em consideração o posicionamento das pessoas que vivem em suas proximidades e adotar medidas que previnam a contaminação ou exaustão dos corpos d'água, a emissão de poluentes atmosféricos, a desconfiguração da paisagem etc. (ELAW, 2010).

A produção bruta de areia no ano de 2021 foi de, aproximadamente, 101,5 milhões de toneladas e a quantidade comercializada no mesmo período foi de quase 81 milhões de toneladas (ANM, 2023). Há uma previsão para o ano de 2030 de que o consumo de areia poderia chegar a 1.276 milhões de toneladas. A atividade de extração de areia também é responsável por gerar, aproximadamente, 200 mil empregos, sendo 50 mil empregos diretos, a cargo de empresas de pequeno porte (MME, 2009).

Visto que a extração de areia é de suma importância para o desenvolvimento da sociedade e da infraestrutura, uma vez que é um agregado da construção civil, sua atividade não pode cessar, contudo, também não pode ser feita de uma maneira não pensada. Dessa forma faz-se necessário estudar maneiras para que a prática de extração se dê de um modo sustentável, para que possa ficar mais tempo em atividade mantendo os benefícios que já traz para a sociedade, mas sem destruir o meio ambiente.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Este trabalho tem como objeto de investigação das práticas de gestão voltadas à redução dos impactos causados pela extração de areia fluvial utilizando os conceitos de Produção mais Limpa e Produção Enxuta. Com isso, a pesquisa tem como pergunta principal: como a utilização de ferramentas associadas à Produção mais Limpa e à Produção Enxuta podem ajudar a reduzir os impactos ambientais e os desperdícios no processo de extração de areia?

A partir da pergunta principal, perguntas secundárias são necessárias de serem respondidas tais como:

- Quais os principais elementos relacionados ao conceito de Produção mais Limpa?
- Quais os principais elementos relacionados ao conceito de Produção Enxuta?
- Até que ponto é possível compatibilizar elementos relacionados aos dois conceitos?
- Qual o papel da extração de areia para a garantia da qualidade de vida da sociedade?
- Quais os principais impactos ambientais negativos causados no processo de extração de areia?
- Quais os principais desperdícios de operações presentes no processo de extração de areia?

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é avaliar até que ponto a utilização dos conceitos da Produção mais Limpa e Produção Enxuta são capazes de minimizar os impactos ambientais e desperdícios no processo de extração de areia.

A partir desse objetivo principal, os seguintes objetivos específicos são identificados:

- Descrever os conceitos de Produção mais Limpa e Produção Enxuta;
- Analisar a importância da atividade de extração de areia para a sociedade;
- Descrever os impactos ambientais negativos causados pela extração de areia, assim, também, como os desperdícios de suas operações.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

O presente trabalho tem um objetivo exploratório e emprega uma abordagem qualitativa. Além disso, tem caráter aplicado, pois busca identificar e propor boas práticas para as atividades de extração de areia.

A investigação teve como base revisão bibliográfica e análise documental, dos conceitos de Produção Enxuta e Produção mais Limpa, a fim de concatenar suas ferramentas para, se possível, serem aplicadas na extração de areia nos leitos de rios.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo deste trabalho foi feita uma introdução sobre o problema a ser desenvolvido, assim também como a justificativa, os objetivos que se esperam alcançar, além da metodologia e da estrutura do trabalho.

No segundo capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos conceitos acerca dos modelos de Produção Enxuta e Produção Mais Limpa, bem como uma avaliação sobre a interface entre essas duas propostas.

O terceiro capítulo aborda uma análise da importância da mineração no Brasil e como a atividade de extração de areia tem relevância para a sociedade.

O quarto capítulo apresenta os tipos de extração de areia existentes, como é realizado o processo de extração e os impactos, negativos e positivos, que a atividade causa no meio ambiente e para a sociedade. Também são abordadas neste capítulo propostas de melhorias do processo utilizando-se dos conceitos de Produção mais Limpa e Produção Enxuta, apresentados no segundo capítulo deste trabalho.

O quinto capítulo, por fim, finaliza o trabalho com as conclusões sobre as discussões levantadas nos capítulos anteriores e apresenta as melhores práticas para a atividade de extração de areia.

2. PRODUÇÃO ENXUTA E A PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO FERRAMENTAS PARA ELIMINAR OS DESPERDÍCIOS

Neste capítulo são apresentados como foram criados, os conceitos, as principais ferramentas utilizadas pela Produção Enxuta e Produção mais Limpa. Além de conhecer os referidos métodos, são apresentados exemplos práticos onde foram aplicados os conhecimentos da PE e P+L e quais os benefícios alcançados. Por fim, são avaliadas as familiaridades que ambos os modelos produtivos têm entre si e sua convergência de conceitos.

2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)

O termo Produção mais Limpa refere-se à aplicação de uma estratégia de prevenção ambiental aos processos, produtos e serviços com o objetivo de aumentar a eficiência da produção e diminuir os riscos para a sociedade e o meio ambiente (WERNER *et al.*, 2009). Segundo a CETESB (2004), a Produção mais Limpa é uma estratégia ambiental que busca os seguintes objetivos:

- **Nos processos:** economia de matéria-prima e energia, como também a redução, ou eliminação, de materiais e resíduos tóxicos.
- **Nos produtos:** reduzir os impactos negativos do ciclo de vida dos produtos, desde a extração da matéria-prima até seu descarte.
- **Nos serviços:** a concepção e prestação dos serviços deve incorporar considerações ambientais.

O conceito de P+L possui similaridades com outro: o da Ecoeficiência. A Ecoeficiência busca a entrega de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, de maneira que se reduza progressivamente os impactos ecológicos e de recursos. Entretanto, dos três elementos da sustentabilidade (economia, ecologia e progresso social), a Ecoeficiência abrange somente dois, a economia e a ecologia (WBCSD, 2006).

> A ecoeficiência é uma soma de valores que indica que a produção não necessariamente anda de mãos dadas com o esgotamento dos recursos. Entretanto, a ecoeficiência por si só integra somente dois dos três elementos da sustentabilidade, a econômica e a ambiental, deixando de lado o progresso social. A necessidade de aplicação prática da ideia de ecoeficiência fez com que surgisse a Produção mais Limpa (P+L). Por meio da implantação de técnicas de P+L (produção mais limpa) se consegue redução do consumo de recursos, redução de impacto na natureza e condicionantes que incentivem a inovação e a transparência (ROSSI; BARATA, 2009, p.01).

Ambos os conceitos visam a produção e consumo sustentáveis, tendo a Ecoeficiência um traço específico na geração de valor agregado tanto para a sociedade quanto para os negócios, mantendo os níveis de competitividade (DIAS, 2017).

Para o CEBDS (2004), a Produção Mais Limpa se caracteriza como uma estratégia de gestão ambiental para prevenir a poluição nas empresas, otimizar o uso das matérias-primas, de modo que diminua ou pare de gerar resíduos, trazendo, dessa forma, benefícios econômicos para a mesma. De acordo com o conceito, os gestores devem ter em mente que os resíduos que são gerados foram, em algum momento, matéria-prima adquirida pela empresa, ou seja, lhes custou dinheiro. Além disso, os resíduos consomem insumos importantes como água e energia na transformação da matéria-prima em produto final, aumentando ainda mais o custo para as empresas.

> A metodologia Produção mais Limpa (P+L) tem como objetivo identificar e quantificar a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e/ou emissões atmosféricas, a fim de buscar alternativas para minimizar ou evitar o consumo de matérias-primas, energia e água; ou de reutilizar (internamente ou externamente) aqueles, a partir da lógica da análise do modelo de transformação (entrada/processamento/saída da macro-operação e de suas micro-operações) (JABBOUR; JABBOUR, 2013, p. 63).

Dessa forma, deve-se levar em conta que o P+L é uma evolução de métodos anteriores de controle da poluição que evoluíram. Anteriormente tais métodos eram fundamentados em uma perspectiva de “fim-de-tubo” e buscavam responder a perguntas de “O que fazer com os resíduos?”, tendo uma abordagem reativa. Por outro lado, a Produção mais Limpa segue uma linha proativa, fazendo questionamentos como “De onde surgiram os resíduos?”, “O que fazer para não gerar mais resíduos?” (CNTL, 2003).

Para Dias (2017), as técnicas de fim-de-tubo utilizam tecnologias e produtos para tratamento dos resíduos. Contudo, estas tecnologias, em geral, não reduzem a contaminação, apenas diminuem a toxidade e a transferem de um meio para o outro.

As ações de controle da poluição de fim-de-tubo buscam a solução dos problemas depois que eles já aconteceram e não faz o questionamento de como surgiram. Dessa forma os resíduos continuam sempre a surgir. A Produção mais Limpa vai no sentido oposto. Suas ações são de maneira a não deixar que os resíduos surjam, buscando saber onde eles foram gerados e o seu entendimento. O Quadro 1 mostra um comparativo entre as técnicas de fim-de-tubo e a Produção mais Limpa.

Quadro 1 - Fim-de-tubo x P+L

FIM-DE-TUBO	**PRODUÇÃO MAIS LIMPA**
Reativa	Proativa
Controle de resíduos, efluentes e emissões através de equipamentos de tratamento	Prevenção na geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Evita matérias-primas tóxicas.
Proteção ambiental é para especialistas competentes	Proteção ambiental é tarefa de todos
Proteção ambiental vem depois que os processos e produtos foram desenvolvidos	A proteção ambiental é parte integrante do desenvolvimento do produto e do processo
Os problemas ambientais são resolvidos sob o ponto de vista tecnológico	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os campos e níveis
Não se preocupa com o uso eficiente de energia, água e materiais	Uso eficiente de materiais, energia e água
Aumenta os custos	Reduz os custos

Fonte: Adaptado CNTL, 2003.

As formas corretivas que as técnicas de fim-de-tubo usam acabam gerando um maior custo no gerenciamento ambiental da organização. As ações tomadas por essa abordagem são relacionadas sobre a disposição dos resíduos ou sobre o seu tratamento. Não trazem uma solução ambiental definitiva para organização, como também incorpora mais custos ao processo e, no longo prazo, se torna mais cara (CNTL, 2003).

CNTL (2003) traz que, tendo por base as causas que geram os resíduos, é possível fazer modificações atuando em vários níveis e aplicando as estratégias que visam a P+L. A Figura 1 ilustra os níveis que devem ser feitas as atuações.

Figura 1 - Ótica hierárquica da Produção mais Limpa.

Fonte: Malaquias, 2018, p. 26.

A caracterização da P+L se dá pelas ações de Nível 1, onde se pretende minimizar os resíduos e emissões com o foco de reduzir diretamente na fonte fazendo a modificação do produto e/ou do processo. Caso não seja possível eliminar na fonte, faz-se a reintegração dos resíduos no processo (reciclagem interna), caracterizando, assim, o Nível 2. No último caso, o Nível 3 comtempla a reciclagem externa, somente utilizada se esgotada todas as possibilidades de melhorias nos dois níveis anteriores (CNTL, 2003).

O conceito da P+L foi lançado em 1989 pelo Programa da Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Ele chegou ao Brasil, na década de 1990, quando as indústrias brasileiras tiveram conhecimento da Produção mais Limpa, após a realização da Rio 92 (WERNER *et al.*, 2009). Seu início no país, segundo Santos *et al.* (2006), foi promovido pela Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul em 1995 através do Centro Nacional de Tecnologia Limpas (CNTL) tendo apoio financeiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) como parte da implementação de centros em 10 países em desenvolvimento.

Silva e Silva (2017), em um estudo sobre a produção de cerâmica vermelha, destaca como a utilização da P+L pode ser incorporada em seus processos e os benefícios gerados:

- Mudanças de matérias-primas ou insumos: incorporar pó de rocha ornamental, que ajuda a diminuir os impactos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais; incorporação de 10% de lodo de estação de tratamento de água; lodo galvânico, de vidro de embalagens de bebida e de recipientes de laboratório.

- Mudança no produto: fabricação de blocos prensados (de encaixe) que tem menos desperdício que o processo de extrusão, gerando, também, benefícios nos canteiros de obras pelo sistema de encaixe dos blocos.
- Boas práticas operacionais: economia de combustível e energia utilizando queima rápida (10 a 20 ºC/min) no processamento da cerâmica vermelha em detrimento da queima lenta (1 ºC/min).
- Outros: substituição da cerâmica tradicional por um compósito cerâmico-polímero que utiliza resíduos da cerâmica vermelha e polímeros recicláveis (PET, polipropileno e poliestireno) para eliminar o processo de queima.

A CETESB (2012) incentiva a aplicação da P+L divulgando casos de sucessos de empresas brasileiras. Um desses casos foi concebido na empresa Termogal Tratamento de Superfícies LTDA, prestadora de serviços no ramo de galvanoplastia, localizada na cidade de Itu estado de São Paulo. A Termogal processava, à época, cerca de 4 toneladas por dia de materiais. Seu processo de produção demandava um grande consumo de água potável, advindo da rede pública. Os processos também apresentavam grande geração de efluentes líquidos industriais, resíduos de soluções químicas diversas e compostos oriundos devido a proteção metálica. Tais efluentes possuem elevado potencial de contaminação de mananciais e corpos d'água por incorporar de 1 a 5% de compostos químicos solúveis e insolúveis, tanto orgânicos como inorgânicos, tornando necessário um tratamento adequado para o descarte.

A Termogal processava a linha de estanho ácido com 03 tanques rotativos e 02 tanques estáticos. A medida adotada concentrou-se em segregar as águas nas células de estanho utilizando-se, para isso, 05 estágios tipo cascata em contra fluxo ao processo, diminuindo a necessidade de entrada de água nova da rede pública. Com o sistema de lavagem de peças nesses 05 estágios e, consequentemente, na redução do consumo de água, foi possível mensurar o reator de resina de troca iônica que, após alguns estágios, retorna aos tanques de estanho como matéria-prima, por ter baixas concentrações dos contaminantes levados para o último estágio de lavagem da célula segregada (CETESB, 2012).

Com a aplicação de práticas da P+L, a Termogal conseguiu atingir uma economia de aproximadamente 98% do consumo de água, passando o consumo de 310 litros por hora para apenas 5,27 litros; redução da geração de efluentes líquidos como também da geração e distribuição de resíduos sólidos, redução no uso de recursos naturais, com a diminuição do consumo de estanho metálico em 100 quilos por ano. A economia gerada para a Termogal aplicando práticas de P+L foi de mais de R$ 50 mil por ano (CETESB, 2012).

Em 1998 foi realizada em São Paulo a Primeira Conferência das Américas sobre Produção mais Limpa, que visava consolidar a P+L no continente americano. Entretanto, consideraram que a implementação da P+L iria além de seguir alguns passos, ela requeria mudança de atitude e criação de políticas nacionais (DIAS, 2017).

Em 2004, a CETESB divulgou em seu relatório elaborado para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, quais as dificuldades encontradas pelos países para a implementação da Produção mais Limpa nas áreas governamental, industrial e no âmbito geral, mostradas no Quadro 2.

Quadro 2 - Dificuldades para implementação da P+L.

GOVERNAMENTAL	INDUSTRIAL	GERAL
Falta de comprometimento governamental na priorização das ações de P+L.	Falta de interesse e participação limitada na implementação de ações da P+L.	Falta de conscientização sobre o tema P+L.
Falta de suporte legislativo e legislação adequada.	Comportamento reativo dos empresários e desconhecimento de alternativas tecnológicas.	Dificuldade em manter e desenvolver centros que desenvolvam tecnologias limpas e materiais alternativos.
Falta de conhecimento sobre a qualidade ambiental, rede de monitoramento ambiental ineficiente.	Dificuldades em realizar novos investimentos.	Falta de sinergia entre os atores envolvidos: governo, indústria e sociedade.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2004.

As áreas públicas e privadas ainda não têm pleno conhecimento sobre P+L. Falta, por parte do governo, a integração da área ambiental com as demais áreas governamentais, a desburocratização de recursos, tanto materiais quanto financeiros, além da dificuldade de inserir P+L nas políticas públicas, que ajuda a manter os desafios atuais.

O conceito de P+L, no âmbito internacional, acabou sendo substituído por *Design for Sustainability* e busca se aprofundar mais na Análise do Ciclo de Vida dos produtos. Apesar dessa evolução e aumento da complexidade do conceito, o P+L em sua forma original ainda apresenta muitos aspectos positivos, sendo particularmente indicado para produtos e processos simples, como no caso da extração de areia (UNEP, 2009).

Mazan (2013) também destaca que a dificuldade em aderir as práticas de P+L estão relacionadas com a mudança de tecnologia, ao desenvolvimento de produtos mais limpos e o envolvimento da cadeia de fornecedores. Ressalta que as melhorias com relação a P+L são mais fáceis de alcançar mediante a incentivos de programas governamentais ao desenvolvimento tecnológico e à substituição de equipamentos ineficientes.

2.2 PRODUÇÃO ENXUTA

A produção enxuta teve seu início no Japão, na Toyota Motor Company em um cenário de pós-guerra. A forma mais barata de se produzir carros na época era a produção em massa. Contudo produzir carros em grande escala e iguais não seria absorvido pelo mercado japonês. Era preciso que a Toyota produzisse em uma quantidade menor e, também, com uma variedade maior, mas mantendo os custos de produção baixos (FRANCO, 2007).

> A partir deste dilema, na década de 1950, surgiu o Sistema Toyota de Produção (TPS – *Toyota Production System*) para formar a base de uma nova forma de pensar sobre manufatura, logística e desenvolvimento de produtos. Os grandes responsáveis pela criação e formalização desta nova abordagem foram Taiichi Ohno (engenheiro chefe da Toyota) e Shigeo Shingo (engenheiro consultor que contribuiu com a melhoria do TPS). Ela está centrada em um princípio fundamental da abordagem enxuta: eliminar perdas ao longo do processo de produção (FRANCO, 2007, p.40).

Para Santos (2003), a Toyota tinha que competir, também, em uma maior variedade e poucas quantidades.

> Assim, para a Toyota, o nó da questão residia em como produzir competitivamente uma maior variedade de modelos em pequenas quantidades. Sob este aspecto, o problema estava em alcançar a eficiência e a redução de custos não mais com base em economias de escala, mas em outros elementos da produção manufatureira (SANTOS, 2003, p.34).

O que caracteriza Produção Enxuta, para Slack *et al.* (2018), é a obtenção de um fluxo de materiais que ofereça para os clientes o que desejam na quantidade exata, onde e quando necessitam e a um baixo custo. A Produção Enxuta é o resultado de itens fluindo de maneira rápida através dos processos e, também, das operações e da rede de suprimento.

Albertin e Pontes (2016) definem Produção Enxuta como o fluxo contínuo das peças e a integração dos processos e dos operadores. Além disso, a organização das máquinas deve ser o mais próximo possível uma das outras. Produzir em lotes menores, tendendo, em teoria, a lotes unitários, a fim de reduzir estoques e esperas. A produção enxuta deve permitir que os postos de trabalho sejam alimentados em quantidades e momentos certos, mas com o mínimo de espaço, pessoas e material.

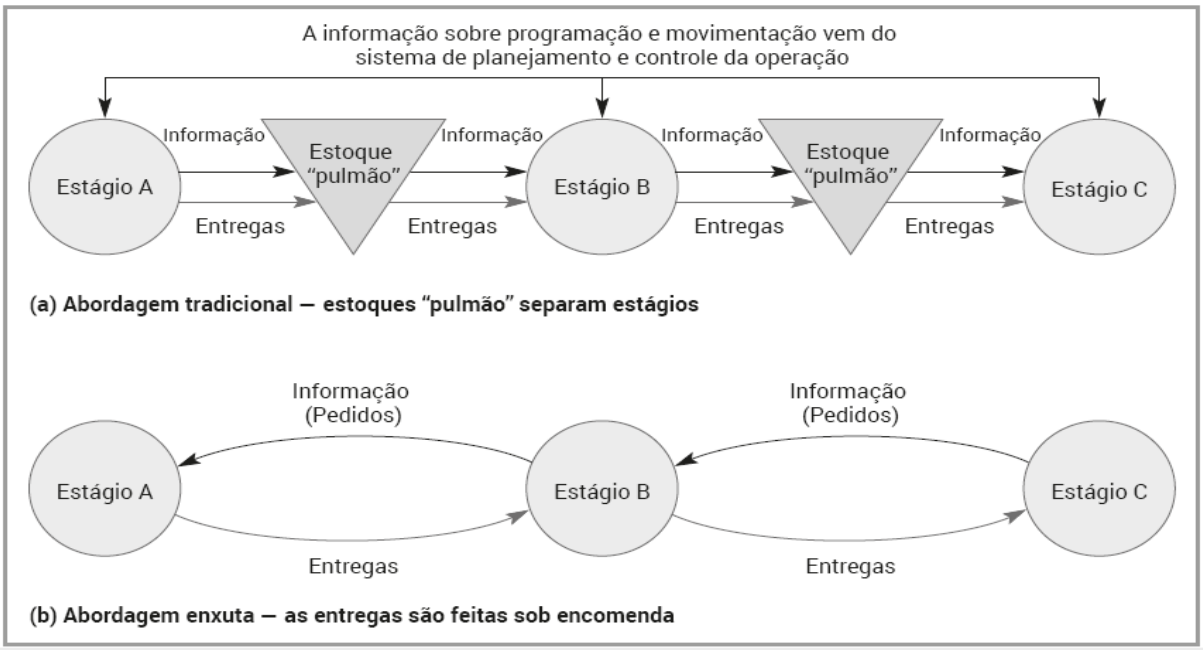
Para se obter um fluxo contínuo, segundo Albertin e Pontes (2016), é necessário:

- Diminuir o tempo de troca de ferramenta (*setup*);
- Realizar o controle de qualidade no próprio local de trabalho;
- Manutenção preventiva eficiente, para evitar eventuais paradas de máquinas.

Liker (2007) define que o fluxo de um processo contínuo significa reduzir a zero o tempo de espera de um trabalho para ser realizado. Mas, além de fazer os materiais e as informações circularem com rapidez, o fluxo também é responsável por ligar os processos e as pessoas para que os problemas apareçam imediatamente.

O fluxo na abordagem tradicional cria estoques entre um estágio e outro (Figura 2) fazendo com que eles se isolem. Dessa maneira, se ocorrer alguma interrupção em um dos estágios, os seus vizinhos continuam a produzir. Eles utilizam o estoque e não sabem do problema que surgiu, que fica inteiramente na responsabilidade do estágio onde ele ocorreu. Por outro lado, na abordagem enxuta, a transferência para o próximo estágio é feita de forma sincronizada (*just-in-time*). Com isso, se um problema ocorrer em um dos estágios, ele afetará todo o processo e ficará exposto para todos, aumentando as chances de o problema ser resolvido, uma vez que a responsabilidade está compartilhada com todos (SLACK *et al.*, 2018).

Figura 2 - Abordagem tradicional vs abordagem enxuta.



Fonte: Slack *et al.*, 2018.

O desperdício, sob a abordagem da Produção Enxuta, é tudo o que não agrega valor ao produto, sendo ele, o desperdício, a parte mais significativa para Produção Enxuta (SLACK

et al., 2018). Para Shingo (2007), o desperdício geralmente não é percebido facilmente, por se tornar uma parte natural do trabalho diário.

A Produção Enxuta identifica sete tipos de desperdícios. Eles são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Desperdícios da produção enxuta.

DESPERDÍCIOS	DESCRIÇÃO
1. Superprodução	Produzir mais ou antes do tempo necessário.
2. Espera	Ociosidade dos trabalhadores, peças e informação ao longo do fluxo.
3. Transporte	Atividades de movimentação e transporte desnecessários de peças, pessoas e informação.
4. Processamento	Maior uso de energia ou atividades que o necessário para produzir ou que não agrega valor.
5. Movimentação	Movimentação desnecessária de pessoas, como caminhar, levantar, etc.
6. Inventário	Excesso de material, produto ou informação que não são necessárias para satisfazer o cliente.
7.Produtos defeituosos	Desperdício de materiais, mão de obra, ferramentas, equipamentos e movimentação com produtos defeituosos.

Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2018).

Identificar os desperdícios é o primeiro passo a ser dado para se alcançar a produção enxuta. Existem ferramentas que auxiliam na identificação desses desperdícios como, também, ajudam a eliminá-los.

- ***Poka-yoke* (à prova de erros)**: foi uma ferramenta desenvolvida por Shingo na Toyota Motor Company com o intuito de manter a qualidade na origem, não possibilitando que produtos defeituosos se propaguem por toda a linha de produção (LÉLIS, 2012). O *poka-yoke* é um dispositivo de inspeção que ajuda a detectar defeitos usando controles físicos ou mecânicos, auxiliando os trabalhadores, que não conseguem, por mais que tentem e sejam bons, fazer uma inspeção 100%. Pode ser dividido entre dois tipos: o *poka-yoke* de controle, que para o processo todo quando é ativado e o *poka-yoke* de advertência, que apenas sinaliza o trabalhador com uma luz ou sinal sonoro, mas continua em atividade (SHINGO, 2007).

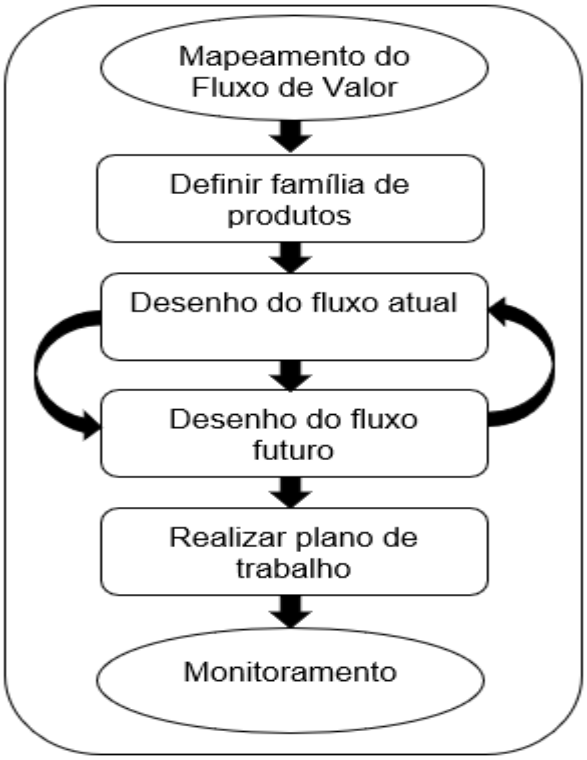
- **Troca Rápida de Ferramentas (TRF)**: também desenvolvida por Shingo e de extrema importância para se alcançar a produção enxuta, a TRF surgiu da necessidade de reduzir

os longos tempos que eram gastos com o *setup* das máquinas, que pode ser dividido em quatro funções: preparar matéria prima, dispositivos de montagem, acessórios (30% do tempo); fixar e/ou remover ferramentas e matrizes (5% do tempo); centralizar e dimensionar as ferramentas (15% do tempo); processamento inicial para ajustes finais (50% do tempo). Shingo enumerou oito técnicas para diminuir os tempos nessas quatro funções: (1) Separar *setup* interno e externo: identificar quais operações podem ser realizadas com a máquina parada (*setup* interno) das que podem ser feitas com a máquina funcionando (*setup* externo); (2) Converter *setup* interno em externo; (3) Padronizar a função e não por forma; (4) Utilizar grampos funcionais ou eliminá-los; (5) Usar dispositivos intermediários; (6) Adotar operações intermediárias; (7) Eliminar ajustes; (8) Mecanização (SHINGO, 2007).

- ***Just in Time*:** significa produzir somente o que é necessário, no momento e quantidades necessárias. Shingo (2007) determina que a melhor tradução para o inglês seria *just on time*, significando exatamente no momento estabelecido. O autor ainda destaca que o Sistema Toyota sempre visa estoque zero por isso "cada processo deve ser abastecido com os itens necessários, na quantidade necessária, no momento necessário – *just-on-time*, ou seja, no tempo certo, sem geração de estoque." (pág. 103).

- **Mapeamento do fluxo de valor (MFV):** é uma ferramenta utilizada para mapear todo o sistema de produção, englobando todos os processos e atividades, ajudando a entender seu funcionamento desde a aquisição da matéria-prima com todos seus fornecedores, passando pelo processamento dos produtos, fluxo de peças e informações, alocação dos trabalhadores e suas respectivas funções até a entrega do produto acabado (WILDAUER; WILDAUER, 2015). O MFV começa com a identificação de famílias de produtos para o mapeamento e então é feito o desenho atual do mapa de produção, posteriormente, desenha-se o mapa do fluxo futuro já com as melhorias e, por último, é traçado um plano de trabalho para a implementação (Figura 3). O desenho do estado futuro é mais difícil, uma vez que deve ser levado em conta diferentes cenários e o posicionamento da empresa para os mesmos, porém, é uma etapa de aprendizado, podendo ser modificado quando for necessário (ALBERTIN; PONTES, 2016).

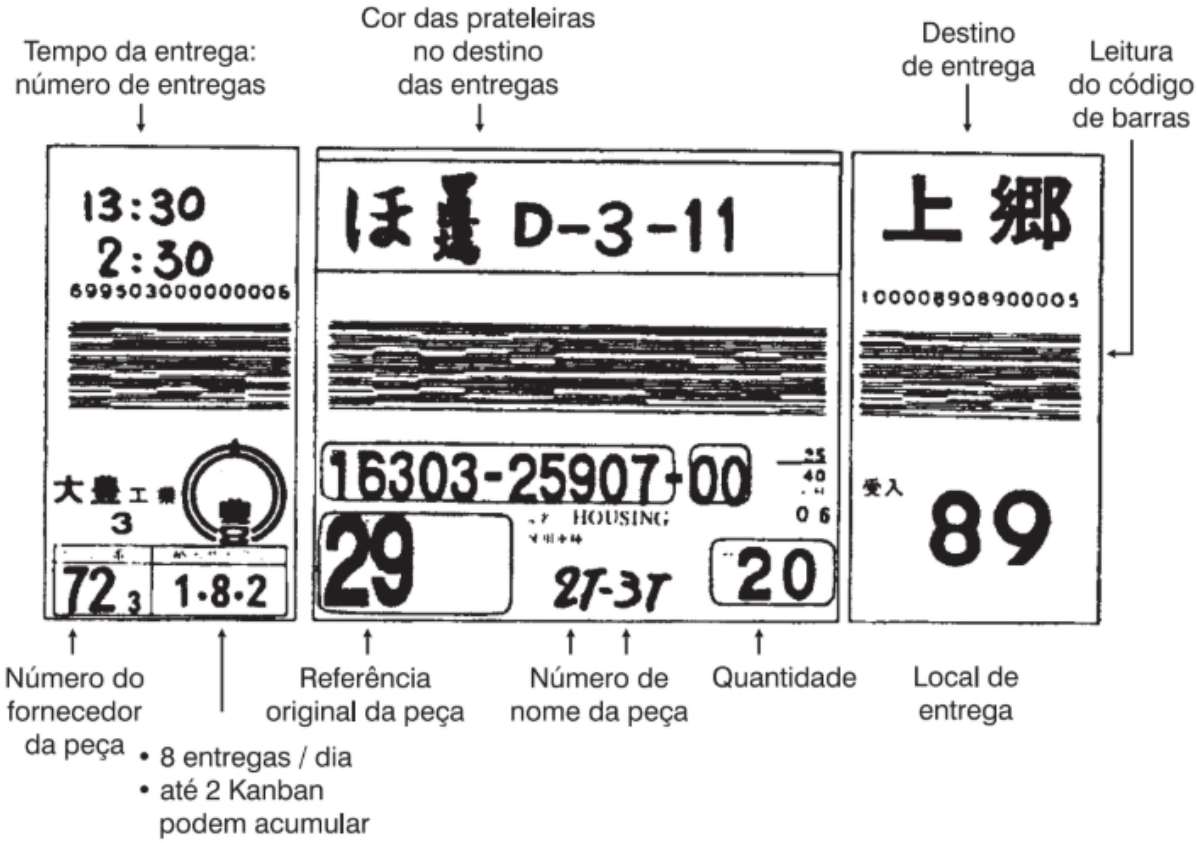
Figura 3 - Etapas do MFV.



Fonte: Adaptado de Albertin e Pontes, 2016, p. 127

- ***Kanban*:** é um cartão ou sinal (tradução do termo japonês *kanban*) utilizado para disparar as ordens de produção e/ou movimentação dos produtos de toda a linha de produção baseada na demanda dos produtos finais (FELÍCIO, 2012). A produção percorre o caminho inverso, do final para o início, e produzir em resposta ao pedido minimiza os estoques ao longo do processo, pois só serão produzidos os itens que irão vender. O *kanban* traz em si informações de identificação para indicar o que é o produto (etiqueta de identificação), a instrução da tarefa do que deve ser feito, em quanto tempo e quantidade (etiqueta da tarefa) e de onde foi feito o pedido e onde ele deve ser entregue (etiqueta de transferência). Ele é separado em dois tipos: o *kanban* de produção, autorizando que seja iniciada a produção de um item para o estoque contendo as informações das etiquetas de identificação e tarefa; e o *kanban* de movimentação, indicando para onde devem ser transportados os produtos ou matérias-primas que ficam contidas na etiqueta de transferência (SHINGO, 2007). A Figura 4 ilustra um *kanban* de produção.

Figura 4 - Modelo de kanban de produção.



Fonte: Shingo, 2007, p. 214.

- **5S:** é uma metodologia que, ao ser utilizada, promove mudanças no ambiente de trabalho, como a organização, limpeza, desenvolvimento e manutenção. São ideogramas japoneses que traduzidos para o português são antecedidos do termo “senso de” para manter o mesmo sentido. As práticas dessa metodologia fazem com que os trabalhadores tenham mais foco e consigam priorizar tarefas, levando, assim, a menos desperdícios e eliminando atividades e materiais desnecessários (KRAJEWSKI *et al.*, 2017). O Quadro 4 descreve as práticas dessa metodologia.

Quadro 4 - 5S.

JAPONÊS	PORTUGUÊS	DEFINIÇÃO
1º Seiri	Senso de utilização	Identificar o que é necessário no ambiente de trabalho, como materiais, ferramentas, equipamentos, informações e dados, e descartar o desnecessário. Identificar, também, o porquê de estar ocorrendo excessos e/ou desperdícios e combatê-los.
2º Seiton	Senso de ordenação	Organizar e definir critérios para estocar os materiais, ferramentas, equipamentos, informações e dados, de modo que facilite a encontrar o que é necessário. Um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar.
3º Seisou	Senso de limpeza	Manter o ambiente de trabalho sempre limpo como, também, informações e dados atualizados para a tomada de decisões. Identificar as fontes de sujeira e suas causas para manter o ambiente limpo.
4º Seiketsu	Senso de higiene	Criar e manter, no local de trabalho, condições para a saúde física e mental.
5º Shitsuke	Senso de disciplina	Ser capaz de seguir normas e regras escritas ou não, assim como desenvolver o hábito para manter as melhorias e buscar sempre novas.

Fonte: Adaptado de Felício (2012).

A Produção Enxuta pode ser implementada nos mais diversos tipos de operações, desde manufaturas de automóveis, de onde surgiu e, com o sucesso do método, fez ser reconhecida, passando pelo setor da construção civil, onde é denominada de construção enxuta, até mesmo no setor de mineração.

Eliminar ou reduzir atividades que não agregam valor, melhorar a qualidade - tanto para clientes internos quanto externos - com a redução da variabilidade, reduzir o tempo de ciclo pela necessidade de cumprir o cronograma, padronizar as atividades, os projetos e construções, controlar o processo identificando possíveis desperdícios e introduzir a melhoria contínua são alguns dos princípios adotados na construção enxuta advindos da mentalidade enxuta da Toyota (BARROS CORREIA, 2018).

Reis *et al*. (2017) realizaram um estudo prático da “construção enxuta”, que consistiu na visita a um canteiro de obras para verificar as possibilidades de melhoria aplicando os

princípios do método. No estudo foi constatado que no local da obra não tinha um lugar adequado para a alocação dos materiais, ocasionando desperdício, aumento no tempo de fluxo, má qualidade e retrabalho.

As propostas de melhoria apontadas pelos autores incluíam, dentre outras, a implementação da metodologia 5S que possibilita uma melhor alocação dos materiais gerando, consequentemente, um menor tempo de transporte e de fluxo, evitando o desperdício da matéria-prima; a formação de um "lote de produção" direcionando toda a equipe para executar a mesma etapa, reduzindo o tempo de ciclo; a redução da variabilidade através da padronização de fornecedores de materiais e com o treinamento dos operários para a execução das atividades.

Na mineração, Klippel (2007) elaborou um estudo para a implementação das ferramentas da produção enxuta em mineradoras de fluorita, calcário e ametista. Conseguiu identificar nas empresas onde realizou o estudo muitas atividades que não agregavam valor ao produto, inúmeras perdas no processo (processamento, produtos defeituosos, espera, estoque, movimentação, energéticas, ambientais), incluindo, também, perdas por um alto índice de acidente de trabalho devido a erros humanos como esquecimento e má interpretação das palavras.

De acordo com Klippel (2007), tornar as empresas organizações de aprendizagem, devido à baixa escolaridade dos trabalhadores de nível operacional, foi o ponto inicial para a implementação de melhorias. Passou-se a exigir um nível de escolaridade mínimo para determinadas funções e houve incentivos para que os trabalhadores atingissem a escolaridade requerida. Desta forma, os trabalhadores conseguiram identificar a melhorar maneira de realizar as atividades promovendo a cultura de melhoria contínua na organização.

Ainda segundo o autor, o mapeamento do fluxo de produção para os três tipos de mineração estudados (fluorita, calcário e ametista) tornou visíveis, sob a ótica do Sistema Toyota de Produção (STP), as perdas existentes nos processos. Com isso foi possível gerar um fluxograma no qual estivessem representadas as atividades que agregam valor ao produto, consideradas como as operações principais, as atividades necessárias (operações secundárias) e as atividades que não agregam valor nenhum, que são consideradas como perdas do processo e devem ser reduzidas ou eliminadas.

Adotar a mentalidade enxuta, independente do ramo em que se encontra a empresa, pode se beneficiar com a redução dos desperdícios, dos atrasos e de estouro de orçamento (REIS *et al*. 2017). O decréscimo dos custos operacionais com a eliminação das perdas, que antes não eram visíveis dentro do processo, possibilita uma competitividade maior diante de um mercado sempre exigente e cada vez mais globalizado.

As pequenas e médias empresas são, muitas vezes, céticas quanto aos resultados e benefícios que a Produção Enxuta pode trazer para seus negócios. Seus proprietários, na maioria dos casos, desconhecem essa filosofia, ou acreditam que seja muito dispendioso, tanto financeira, quanto de tempo, sua implementação. Esse comportamento também pode ser explicado pela maior dificuldade de conseguir acesso a capital como as grandes organizações conseguem (ARANTES, 2015).

Por outro lado, Arantes (2015) traz que as pequenas e médias empresas, por serem mais flexíveis em seus processos, e algumas por serem empresas familiares, têm vantagens na implementação da Produção Enxuta comparadas com as grandes. A facilidade se dá pelo fato de os gestores conseguirem modificar as operações da empresa de maneira mais rápida, por ter menos burocracia, comunicação direta e menor complexidade nos procedimentos. Ou seja, a informalidade presente nas pequenas e médias empresas é um facilitador para a implementação de novos modelos de produção e tecnologia.

2.3 FAMILIARIDADES DOS CONCEITOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E PRODUÇÃO ENXUTA

O principal ponto de convergência das abordagens de Produção Enxuta e Produção mais Limpa é sobre a questão do desperdício. Ambas tratam a identificação e eliminação do desperdício como o principal fator para conseguir que suas metodologias sejam aplicadas, uma para a obtenção da preservação do meio ambiente e outra para reduzir as perdas do processo de produção.

As pequenas melhorias que a Produção Enxuta proporciona ao tentar eliminar as perdas aumentam as oportunidades de reduzir os resíduos e as emissões, contribuindo, de forma indireta, para a prevenção da poluição. Portanto, em um ambiente onde a mentalidade enxuta é utilizada, tem melhores condições de prevenir a poluição, pela maior autonomia que seus trabalhadores tem na tomada de decisões (MALAQUIAS, 2018).

A junção da P+L e Produção Enxuta possibilita à organização que adota tais metodologias, ter uma melhor capacidade competitiva, frente aos desafios que a manufatura moderna traz: a flexibilidade de produtos, peças e componentes; produtos com melhor conformação ambiental; responsabilidade pelo ciclo de vida do produto, principalmente, suas fases finais (MORENGHI *et al*. 2006).

Elias e Magalhães (2003) destacam que adotar o passo preliminar da Produção Enxuta, identificar e eliminar as sete perdas, configura como o principal paralelo, e fonte de benefícios

para alcançar a P+L. Complementam que eliminando as perdas, ganha-se com a diminuição do uso de recursos naturais, que contribui para a não deterioração e obsolescência do produto.

Buscando eliminar o desperdício da superprodução, há uma contribuição para uma menor utilização de matéria prima e, consequentemente, uma menor geração de resíduos. Impacta também em menos utilização de água e energia, que são recursos gastos para transformar a matéria prima em produto final. Elimina também o inventário em processo, que muitas das vezes precisa de iluminação e climatização para ficarem armazenados.

O desperdício de processamento pode trazer benefícios com a não fabricação de componentes, anteriormente produzidos, que não agregavam valor ao produto, reavaliação de etapas do processo e sua importância. Tais benefícios impactam em um menor consumo de matéria prima e energia. Esses benefícios são obtidos, também, com o fazer certo da primeira vez, ou seja, eliminando o desperdício de produtos defeituosos, que podem acabar fazendo com que se perca todo o material nele utilizado.

Apesar de se obter benefícios junto ao meio ambiente com uma cultura de eliminação de resíduos baseada na melhoria contínua, o bom desempenho ambiental não faz parte dos objetivos da Produção Enxuta, deixando, assim, oportunidades para serem aproveitadas para melhorias ambientais, já que não tem o foco para o risco ambiental e os impactos do ciclo de vida dos produtos (EPA, 2003).

A EPA (2003) associou os sete tipos de desperdícios da Produção Enxuta e os impactos ambientais frequentemente atrelados a cada um deles mostrados no Quadro 5.

A Produção mais Limpa e a Produção Enxuta têm aplicações de estratégias semelhantes como melhorar a qualidade dos processos produtivos, reduzir os resíduos. Tais estratégias levam à redução dos custos associados, melhor eficiência das operações possibilitando as empresas atingirem suas metas econômicas ao mesmo tempo que contribui para um desenvolvimento mais sustentável (MALAQUIAS, 2018).

Elias e Magalhães (2003) afirmam que a junção da P+L e da Produção Enxuta pode gerar benefício econômico. Ao otimizar o processo, minimizar os desperdícios e a utilização de recursos para manter a mesma meta de produção, a empresa se beneficiará de uma redução dos custos, possibilitando ter preços mais competitivos e, consequentemente, gerando maior lucro.

Quadro 5 - Desperdícios da PE e seus impactos ambientais.

DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO ENXUTA	IMPACTOS AMBIENTAIS
Superprodução	- Acumulo de produtos que podem estragar e tornar obsoletos, exigindo disposição. - Matéria-prima e energia consumida sem necessidade.
Espera	- Deterioração ou danos aos componentes e produtos parados em estoque. - Desperdício de energia (aquecimento, resfriamento, iluminação) com materiais pela inatividade da produção.
Transporte e Movimentação	- Maior uso de energia e aumento das emissões durante o transporte. - Mais espaço necessário para a movimentação do *Work in Progress* (WIP) o que aumenta o consumo de energia. - Maior número de embalagens para proteção dos produtos durante o transporte.
Processamento	- Maior consumo de material por unidade de produção. - Aumento de desperdícios, energia e emissões.
Inventário	- Embalagens para armazenar o WIP. - Resíduos de danos ou deterioração ao WIP, mais materiais gastos para substituí-los. - Maior consumo de energia.
Produtos defeituosos	- Desperdício e reposição de matéria-prima consumida com produtos defeituosos. - Descarte dos produtos. - Mais espaço para retrabalho e maior consumo de energia.

Fonte: Adaptado EPA, 2003.

Para Rizzo e Botocchi (2011), a eliminação dos desperdícios é ponto de convergência das duas metodologias. Defendem que a aplicação delas depende da responsabilidade das empresas e de como irão se adaptar ao mercado, uma vez que são muitas as dificuldades de implementação de estratégias sustentáveis, como falta de incentivo de políticas públicas na diminuição de impostos e o desconhecimento das organizações.

É importante ressaltar que, apesar das várias possibilidades que a Produção Enxuta pode contribuir para uma Produção mais Limpa, há divergências. A Produção Enxuta visa a eliminação dos desperdícios para diminuir os custos e pontos ambientais como emissões atmosféricas e resíduos perigosos não são frequentemente contabilizados como desperdícios da manufatura (EPA, 2003).

Tal situação pode ocorrer por exemplo na tentativa de diminuir estoque e, ao mesmo tempo transporte. Por um lado, a redução de estoque intermediário e a adoção de práticas como o *Just in Time* tendem a aumentar a quantidade de transporte interno ou entre fornecedores e empresa. Por outro lado, a Produção mais Limpa pressupõe a eliminação do desperdício de transporte, uma vez que o transporte em sua grande maioria utiliza combustíveis fósseis que, além das emissões gerados pela queima do combustível, pode gerar resíduos como vazamento de óleo lubrificante, graxas, entre outros.

De forma semelhante, em algumas situações em que o *set up* de máquinas gera resíduos ou rejeitos (por exemplo, na atividade de pintura), sistemas de troca rápida de ferramenta e a redução dos lotes de produção podem aumentar a quantidade de rejeitos produzidos. Ainda há situações em que produtos menos tóxicos (tintas à base de água, colas e adesivos menos agressivos) possuem um desempenho inferior e, consequentemente podem exigir tempos de operações maiores. Dessa forma, apesar da potencial convergência entre os dois sistemas de gestão, deve-se levar em consideração que sua junção pode gerar também trade-offs, e que análises e avaliações devem ser feitas caso a caso.

Ambas as metodologias podem ser implementadas e gerenciadas de maneira conjunta nas organizações, com a Produção Enxuta mais direcionada a resultados financeiros e a P+L para a sustentabilidade. A adoção em conjunto possibilita as empresas se tornarem mais competitivas pelo aumento da produtividade, melhora na qualidade e otimização da utilização da matéria-prima e insumos, fatores importantes para se estar em consonância com as exigências de excelência empresarial no mundo atual (MALAQUIAS, 2018).

3 MINERAÇÃO NO BRASIL E A RELEVÂNCIA DA EXTRAÇÃO DE AREIA

3.1 UM PANORAMA GERAL DA MINERAÇÃO

Vieira *et al.* (2015) destacam que, em termos de recursos naturais, o Brasil é considerado como um dos mais ricos do mundo, e entre tais recursos, os minerais recebem maior destaque. Contudo, tal riqueza não fica parada somente em ter uma grande quantidade de recursos minerais, ela também gera crescimento para o país através de sua extração, beneficiamento e comercialização.

A mineração pode ser considerada como a indústria das indústrias, uma vez que seus produtos servem como matéria-prima para muitas outras. Por compor a base da cadeia produtiva, a mineração "dissemina uma infinidade de produtos que se relacionam diretamente à qualidade de vida das populações" (IBRAM, 2020). O Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2020) elucida sobra o quão vasta pode ser a utilidade dos produtos advindos da mineração:

> Qualquer objeto metálico, desde a mais simples panela até o mais complexo instrumento científico, é fabricado a partir de uma variedade de insumos minerais. Os cabos transmissores das mais diversas formas de energia e informações – como os fios de cobre e as fibras ópticas, o automóvel, a geladeira, o celular, tablets, computadores, monitores, microscópios eletrônicos, satélites artificiais e aeronaves espaciais, ou um prosaico clips, têm origem nos bens minerais que a natureza colocou à disposição do homem (IBRAM, 2020, p. 15)

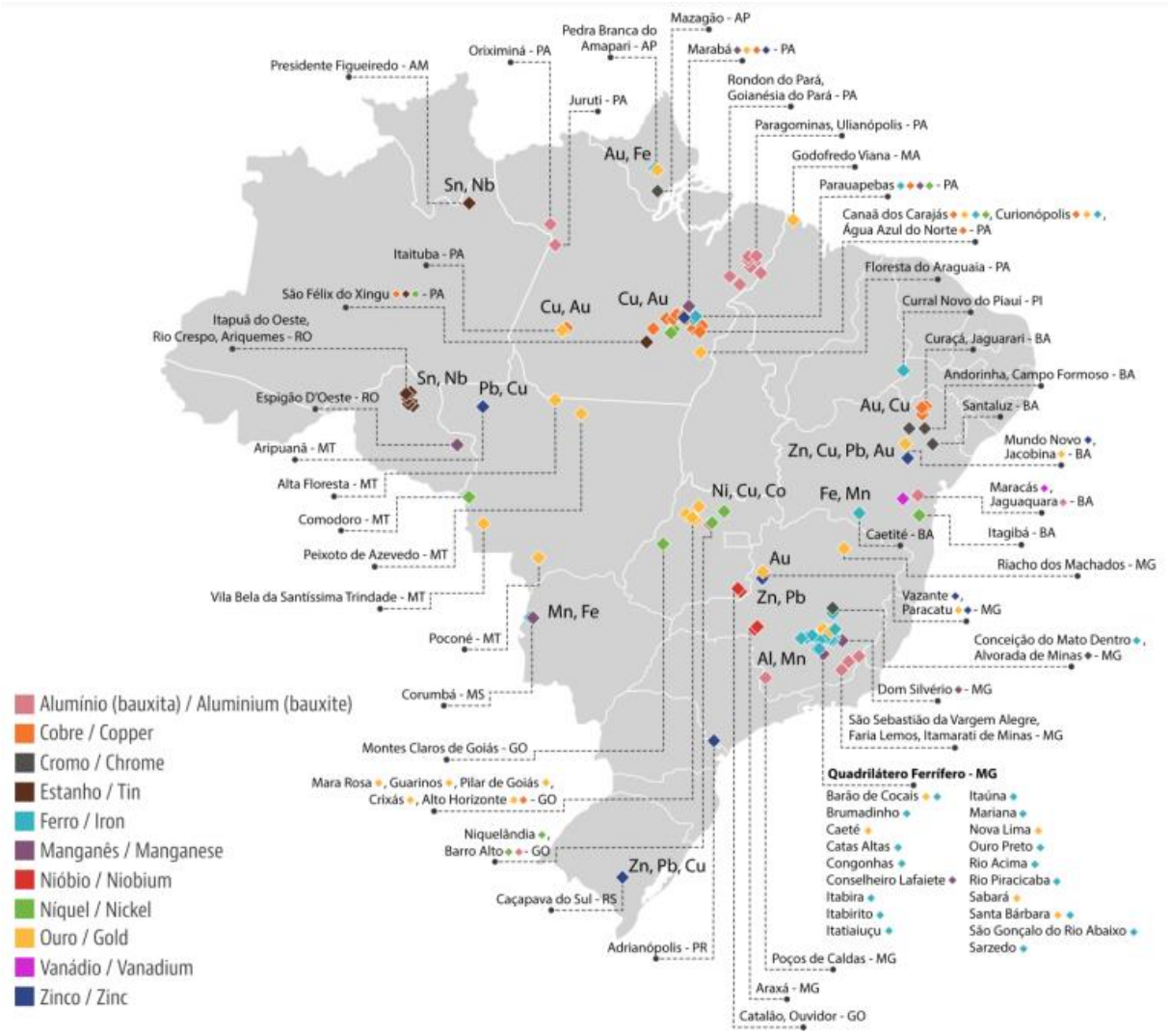
Ainda segundo o IBRAM (2020, p.16), os minerais não metálicos também têm uma vasta aplicação nas mais diversas áreas.

> Um tijolo, uma telha ou o revestimento dos fornos metalúrgicos são feitos com minérios. Os alimentos são produzidos com qualidade e em grande escala graças à adição de fertilizantes, adubos, corretivos e outros compostos aos solos, todos produzidos a partir de minérios e minerais.

A vasta extensão territorial do Brasil, juntamente com sua diversidade geológica, contribui para a farta gama de recursos naturais, tornando o país destaque, no cenário global, em termos de reserva de minerais. Olhando apenas para as substâncias metálicas, o país possui reservas minerais espalhadas por todos os estados. A Figura 5, mostra a distribuição dessas reservas no território nacional.

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro, ano base de 2019, existem 37 substâncias metálicas que possuem títulos de pesquisa ativos e lavra junto a Agência Nacional de Mineração, sendo que, dentre essas, 11 recebem maior destaque: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco.

Figura 5 - Reservas minerais das 11 principais substâncias metálicas.

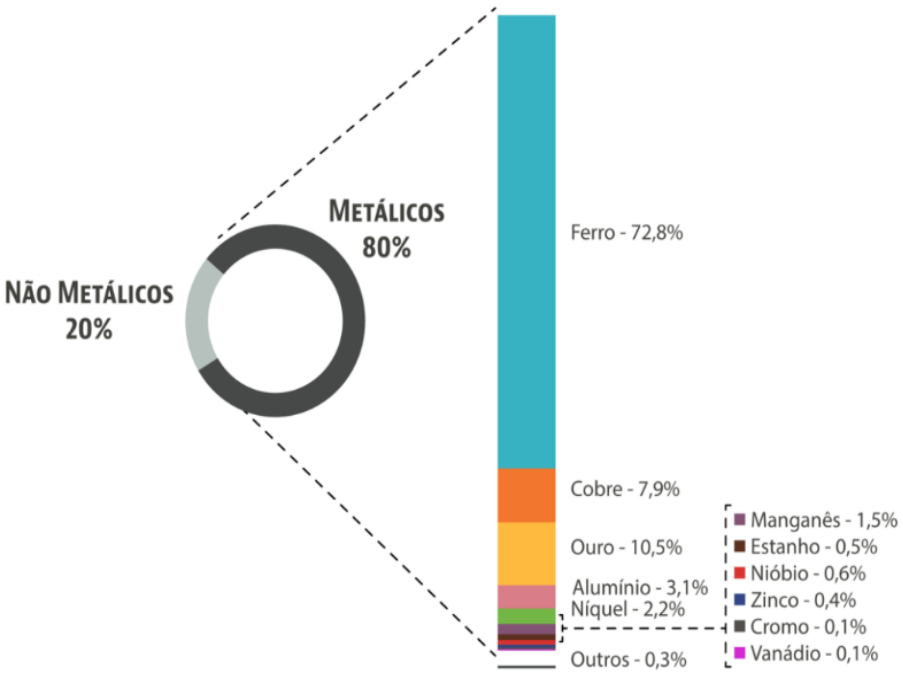


Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2020, p. 04

Ainda segundo o Anuário Mineral Brasileiro, ano base 2019 (ANM, 2020), os minerais metálicos corresponderam a 80% do valor da produção mineral comercializada, sendo que as 11 principais substâncias metálicas são responsáveis por 99,7% desse valor, conforme mostra a Figura 6. Essa porcentagem correspondeu, aproximadamente, a um montante de R$ 129 bilhões no ano base, e tendo sua concentração principalmente nos estados de Minas Gerais e Pará (89,4% do valor da produção).

A publicação da ANM (2020) ainda elucida que tais substâncias foram responsáveis por US$ 48,6 bilhões em exportações (53,5% dos produtos básicos), US$ 14,8 bilhões em importações (74% em produtos manufaturados) e R$ 4,1 bilhões na arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM).

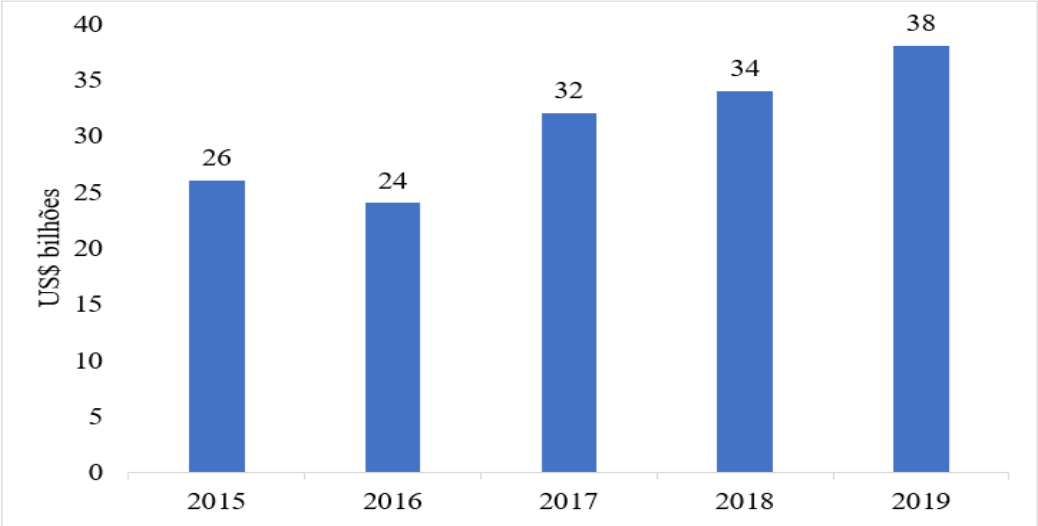
Figura 6 - Participação no valor da produção mineral comercializada, ano base 2019.



Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2020, p. 02

Somente no ano de 2019, conforme dados do IBRAM (2020), a produção nacional de minerais foi de US$ 38 bilhões, o que correspondeu a 16,8% do PIB industrial nacional, um aumento de 11,76% se comparada com a produção do ano de 2018 e de 46,15% com a produção de 2015. A Figura 7 mostra a evolução da produção mineral entre os anos de 2015 e 2019.

Figura 7 - Produção Mineral Brasileira de 2015 a 2019.

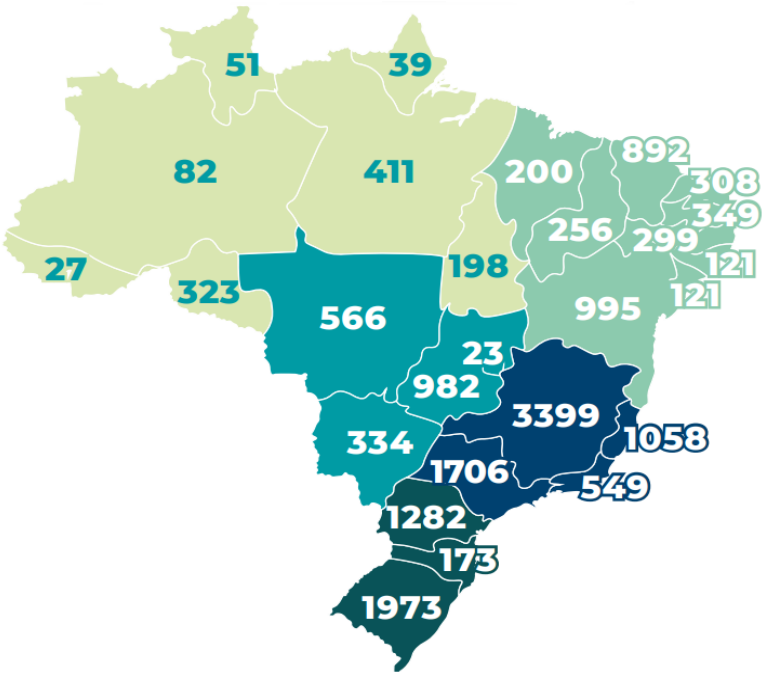


Fonte: Adaptado de IBRAM, 2020.

Tal produção, explicitada na Figura 7, não se dá somente pela produção e exploração de substâncias metálicas ou por grandes empresas mineradoras. A quantidade de jazidas de minerais metálicos somadas com as reservas dos minerais não metálicos, possibilita um grande número de empreendimentos visando a exploração e comercialização de tais riquezas.

De acordo com o IBRAM (2020), existem, em todo o território nacional, mais de 18 mil minas/unidades produtoras em operação, contando nesse montante pedreiras e garimpos legais, sendo sua maior concentração no estado de Minas Gerais, com 3.399 minas/unidades produtoras. A Figura 8 mostra a distribuição dessas minas/unidades produtoras pelos estados brasileiros.

Figura 8 - Número de minas/unidades produtoras por Estado.



Fonte: Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019, p. 21

A grande maioria das minas/unidades produtoras são exploradas por empreendimentos de micro e pequeno porte, que possuem uma capacidade de produção do produto beneficiado menor que 10.000 t/ano e de 10.000 a 100.000 t/ano, respectivamente (ANM, 2020). Em 2017, as micro e pequenas empresas representavam, aproximadamente, 88% das companhias do setor mineral, com 8.403 empreendimentos. O restante era dividido em 135 para minas de grande porte e 992 de médio porte (IBRAM, 2020).

3.2 A IMPORTÂNCIA DA AREIA NO CENÁRIO BRASILEIRO

A areia é um dos minerais não metálicos mais perceptíveis, tratando-se de sua aplicação e benefícios, no cotidiano das pessoas, principalmente devido ao fato de ser um dos agregados na indústria da construção civil, presente desde o concreto e blocos, muito utilizado nas edificações, quanto na pavimentação de estradas.

> Por estar diretamente ligada à construção civil, a atividade de extração de areia cresce cotidianamente, tanto na relevância econômica quanto na social. Os seres humanos dependem cada dia mais deste recurso mineral, que possui aplicabilidade em inúmeras atividades como na pavimentação e construção de rodovias, hidrovias, portos, aeroportos, pontes e viadutos (ROLIM, 2016, p.18).

Alinhada a essa necessidade crescente, conforme destaca Rolim (2016), no ano de 2019, segundo o IBRAM (2020), as atividades que envolviam a extração ou beneficiamento de areia representavam a maior quantidade de minas/unidades produtoras em funcionamento, atingindo a marca de 4.601 unidades, chegando perto de ser o dobro de empreendimentos de rochas e cascalho que fica logo atrás. Além disso, era a líder no número de empreendimentos entre todos os demais minerais, metálicos e não metálicos, assim como dos outros agregados e matérias-primas da construção civil: argilas, rochas ornamentais, calcário, saibro, ouro e as areais industriais.

Figura 9 - Quantidade de minas/unidades produtoras por substância.

Ranking	Substância Principal Declarada para Produção	Nº de Minas/Un. Produtoras - 2019
1º	Areia	4601
2º	Rochas (Britadas) e Cascalho	2574
3º	Argilas	2526
4º	Rochas Ornamentais	1735
5º	Calcário	1008
6º	Saibro	860
7º	Rochas Ornamentais - Outras	504
8º	Ouro	391
9º	Areias Industriais	301
10º	Talco e outras Cargas Minerais	176

Fonte: IBRAM (2020)

Tal quantidade de unidades em atividade se explica pela facilidade em se extrair o mineral, conforme será explicitado no próximo capítulo. Sua exploração não envolve grandes investimentos em termos de maquinário ou o uso de materiais perigosos, como explosivos no caso das rochas britadas, e sua ocorrência, na maioria dos casos em leitos de rios, também é mais um fator favorável a quantidade de unidades produtoras evidenciada pelo IBRAM (2020).

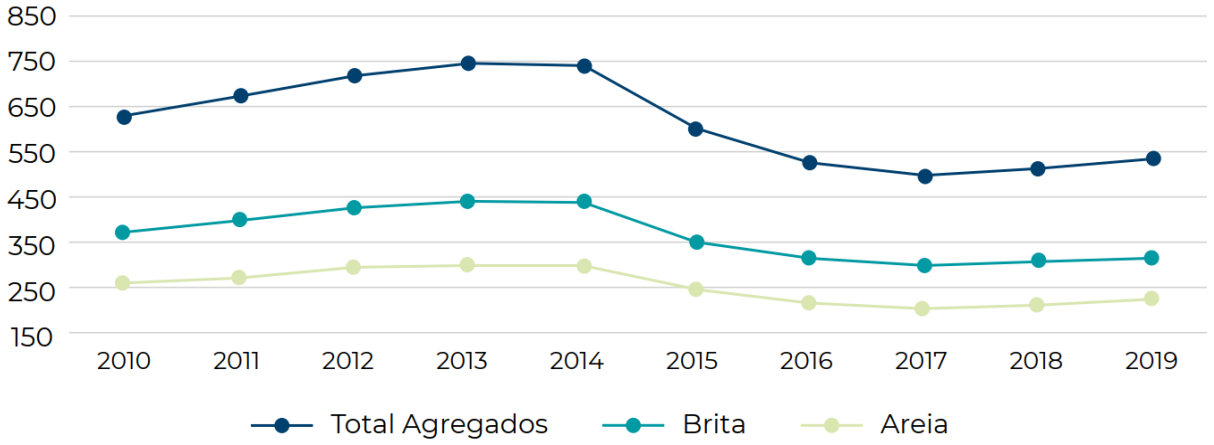
O número elevado de empreendimentos envolvidos com a exploração da areia possibilita uma grande movimentação da economia nos mercados regionais próximos às mineradoras. De acordo com IBRAM (2020), para se ter um aproveitamento satisfatório do mercado da areia, deve-se realizar sua extração em grandes volumes e delimitar pequenos mercados com uma distância máxima de até 300 km, pois o custo de distribuição pode chegar a ser 70% do preço final. Rolim (2016) corrobora essa ideia, destacando que, pelo fato de ser um recurso mineral abundante, possui um baixo valor agregado, o que faz que sua exploração somente seja justificada economicamente se realizada em grandes quantidades.

Apesar de o mercado movimentado pela lavra da areia ser de pequeno alcance, os valores de produção que a atividade faz circular na economia brasileira são consideráveis. Contudo, não existe um mecanismo preciso para se mensurar a produção de areia no Brasil. Como a vasta maioria dos empreendimentos são micro e pequenas empresas, as informações por elas prestadas são imprecisas, por falta de corpo técnico em seu quadro de funcionários e/ou métodos ineficazes. Mas não só isso afeta a inexatidão dos dados, empreendimentos clandestinos, que não operam segundo a legislação, também são um entrave para dados mais concretos, como também para a difusão da sustentabilidade.

De acordo com a ANM (2020), as informações declaradas pelos produtores nos relatórios anuais de lavra (RALs) ficam inferiores à produção real. A comparação com dados do consumo de produtos complementares da areia, como o cimento, por exemplo, confirma tal fato. A produção estimada de areia nos anos de 2015 e 2016 foram de 349 e 312 milhões de toneladas, respectivamente, e o declarado no RAL nesses anos foram de 89,6 e 74,6 milhões de toneladas, respectivamente.

Dados IBRAM (2020) ajudam a confirmar a dificuldade em se obter números precisos da produção de areia. Em levantamento apurado pelo instituto, a produção de areia, desde o ano de 2010, fica em torno de 250 milhões de toneladas por ano, conforme a Figura 10 mostra.

Figura 10 - Produção dos agregados da construção civil.



Fonte: IBRAM, 2020

Os volumes de produção são relevantes, conforme destacado acima, entretanto a cadeia produtiva desse mineral é simples, podendo ser dividida em três etapas. A primeira parte é a extração/lavra da areia conjuntamente, com a separação da areia fina e areia grossa, sua lavagem e decantação. Na segunda etapa ocorre a venda do material para as indústrias que utilizam a areia como matéria-prima para outros produtos (blocos de concreto e vidraçaria, por exemplo) e para comércios de materiais de construção. Na última etapa ocorre a venda para o consumidor final, abrangendo uma variedade de aplicação, desde obras de infraestrutura (aeroportos, ferrovias e rodovias), passando pela construção civil e obras de saneamento (TIBIRIÇÁ, 2017).

Ainda de acordo com a mesma fonte, o número de empregos gerados, olhando apenas para a atividade da lavra da areia, não chega a ser muito expressivo. A mão-de-obra dentro dos empreendimentos de pequeno porte, que representa a maioria das empresas envolvidas na extração de areia, é de baixa qualificação, tendo como um dos motivos por se tratar de empresas familiares, não ultrapassando o montante de 10 colaboradores e raramente contendo um corpo técnico com engenheiro, geólogo, administrador e contador.

Entretanto, ainda segundo a autora, na cadeia produtiva no qual o empreendimento de extração de areia está inserido é possível gerar até o triplo de empregos indiretos, a começar pela terceirização de mão-de-obra qualificada nas atividades burocráticas, como licenças, concessões, autorizações e serviços técnicos de controle ambiental. O IBRAM (2020) destaca que a indústria extrativa mineral gera 3,6 postos de trabalho na próxima etapa da cadeia, o setor de transformação (metalurgia, materiais para construção civil, produtos cerâmicos). Tal efeito multiplicador pode chegar a até 13 empregos indiretos ou induzidos, se abrangendo etapas anteriores, como o projeto de implementação.

Outra forma que a exploração da areia fomenta a economia é através do recolhimento de impostos, tributos e outros pagamentos, dentre as quais se destaca a Compensação Financeira pela Exploração dos Recursos Minerais - CFEM, determinada pela Constituição de 1988, em seu artigo 20. É através dela que os entes federados (União, Estados e Municípios) recebem a parte que lhes compete por permitir a exploração mineral em seus territórios, aumentando seus recursos que podem ser distribuídos como benefícios para a população (IBRAM, 2020).

Ainda segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (2020), a alíquota da CFEM varia dependendo da substância mineral, que no caso da areia o valor é de 1,0%, e incide sobre o faturamento bruto do empreendimento. No ano de 2019, no qual houve uma arrecadação recorde de aproximadamente R$ 4,5 bilhões, a areia movimentou o valor de R$ 23.308.910,43.

4 EXTRAÇÃO E LAVRA: DE ONDE VEM A AREIA?

A formação da areia se dá pela fragmentação das rochas, como uma ação do tempo sobre a mesma – dos ventos, das águas, da vegetação – ou pela própria ação do homem. Após sua formação, a areia é geralmente acumulada nos leitos dos rios, assim como também em dunas, praias e em cavas, de onde pode se fazer sua extração para as mais diversas aplicações em que pode ser utilizada (ROLIM, 2016).

As técnicas para a extração da areia variam de acordo com o local em que o mineral se encontra, alocado através da deposição pelos eventos naturais. De acordo com Nogueira (2016), é mais comumente que ocorra a extração através de dois tipos de métodos: dragagem hidráulica em leitos submersos ou o desmonte hidráulico. O autor ainda discorre que existe uma variedade nos procedimentos práticos, equipamentos e insumos a serem utilizados na extração, pelo fato de depender da conjuntura da jazida, a escala a ser produzida e os tipos de produtos comercializados.

A maior eficácia dos métodos supracitados está em utilizar a força da água que possibilita ter um "custo relativamente baixo envolvido nas operações, quando comparado com outras alternativas." (ALMEIDA, 2003, p. 66).

4.1 DESMONTE HIDRÁULICO

Tal procedimento consiste em utilizar a força hidráulica da água para desagregar o minério, empregando jatos de alta pressão. Segundo Nogueira (2016), o desmonte hidráulico é mais comumente usado nos depósitos de areia das planícies fluviais e em encostas de morros que contenham camadas que foram formadas pela alteração de rochas cristalinas.

Para Rolim (2016), o método se caracteriza por ampla utilização em depósitos horizontais de areia majoritariamente composta por quartzo, que também se desagrega com facilidade. Ainda de acordo com Rolim (2016, p. 58) "na extração de areia sob o método lavra seca/desmonte hidráulico, a desagregação dos sedimentos rochosos não é natural. A matéria prima é 'desmontada' e cai em uma bacia de acumulação para posteriormente ser drenada".

O desmonte hidráulico exige que uma etapa prévia à extração do mineral seja realizada a fim de se obter a melhor efetividade no processo. Inicialmente é necessário realizar o decapeamento da área onde acontecerá a lavra, ação que consiste na remoção da camada de material que recobre o mineral a ser explorado (NOGUEIRA, 2016).

O autor argumenta que o decapeamento permite que o material, que é desprendido por meio de desabamentos controlados com jatos de água de alta pressão, seja direcionado em forma de polpa e com o auxílio da gravidade para um ponto de convergência na base do talude. Nesse local, a polpa é bombeada para os próximos estágios onde ocorre a separação do mineral do restante dos elementos indesejáveis para a comercialização.

De acordo com Almeida (2003), é preciso observar algumas condições que são essenciais para o emprego da lavra pelo método de desmonte hidráulico. A ausência de qualquer uma delas poderia prejudicar ou até mesmo inviabilizar a prática. Tais condições seriam:

- possibilidade do mineral ser desagregado pela força hidráulica;
- abundância de água, pois o método necessita de grande volume para aplicação;
- ampla área para a deposição dos rejeitos do processo;
- ser possível a integração para operações de beneficiamento de seleção do minério em meio aquoso;
- declividade na frente da lavra que permita o minério, em forma de polpa, ser deslocado pela ação da gravidade;
- condições operacionais que possibilitam o controle dos impactos ambientais relacionados, principalmente quanto ao controle da água sobressalente e na recuperação das superfícies atingidas.

Figura 11 - Modelo de desmonte hidráulico.

Fonte: ANEPAC, c2023

O modelo de desmonte hidráulico exige muitos pré-requisitos para se tornar vantajoso, como a preparação do espaço da lavra, desde a limpeza, o local onde o mineral será armazenado em forma de polpa e sua separação final. A água é indispensável para o processo, e necessita

ser em abundância, ela é a responsável por desmantelar a areia dos taludes e pelo transporte até a etapa anterior a destinação final. Contudo, este modelo pode ser a saída para os locais onde a lavra de leitos submersos, especificado na próxima seção, se encontram muito distantes do consumidor final.

4.2 DRAGAGEM HIDRÁULICA EM LEITOS SUBMERSOS

Esse método se refere a qualquer tipo de extração ou atividade em que a substância retirada está submersa em leitos d'água. A Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC (c2023) define da seguinte forma:

> A extração em leito de rio consiste na dragagem dos sedimentos ativos existentes nos leitos dos rios, em profundidades não muito elevadas. A dragagem é feita através de bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores. As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até os silos (ANEPAC, c2023).

Além da dragagem por sucção, que utiliza a força da água como meio de transporte dos sedimentos submersos, a escavação mecânica por meio de máquinas surge como uma alternativa para a remoção da areia nos fundos dos rios. Contudo, para ambas as modalidades, o estado de consolidação do material é fundamental para a adoção do método de dragagem hidráulica (ALMEIDA, 2003).

Para Almeida (2003), este tipo de exploração é caracterizado por possuir um conjunto de bombeamento para realizar a sucção da polpa da superfície submersa dos leitos dos rios, represas e lagoas. Para ajudar a desagregar o material, é comum que em algumas dragas, na ponta da tubulação que faz contato com o plano submerso, tenham um dispositivo mecânico facilitando a formação da polpa e, também, ajudando no deslocamento pelos tubos.

Ainda de acordo com o mesmo, este método é mais comumente encontrado nas seguintes situações. Uma possibilidade é o sistema de bombeamento montado sobre uma barcaça móvel, auto propulsora ou auxiliada por um barco reboque, onde armazena e transporta o minério até os silos. Alternativamente, o sistema pode ser montado sobre barcaça com ancoragem fixa e o minério transportado através de tubulação sustentada por tambores flutuantes. A Figura 12 ilustra os dois métodos.

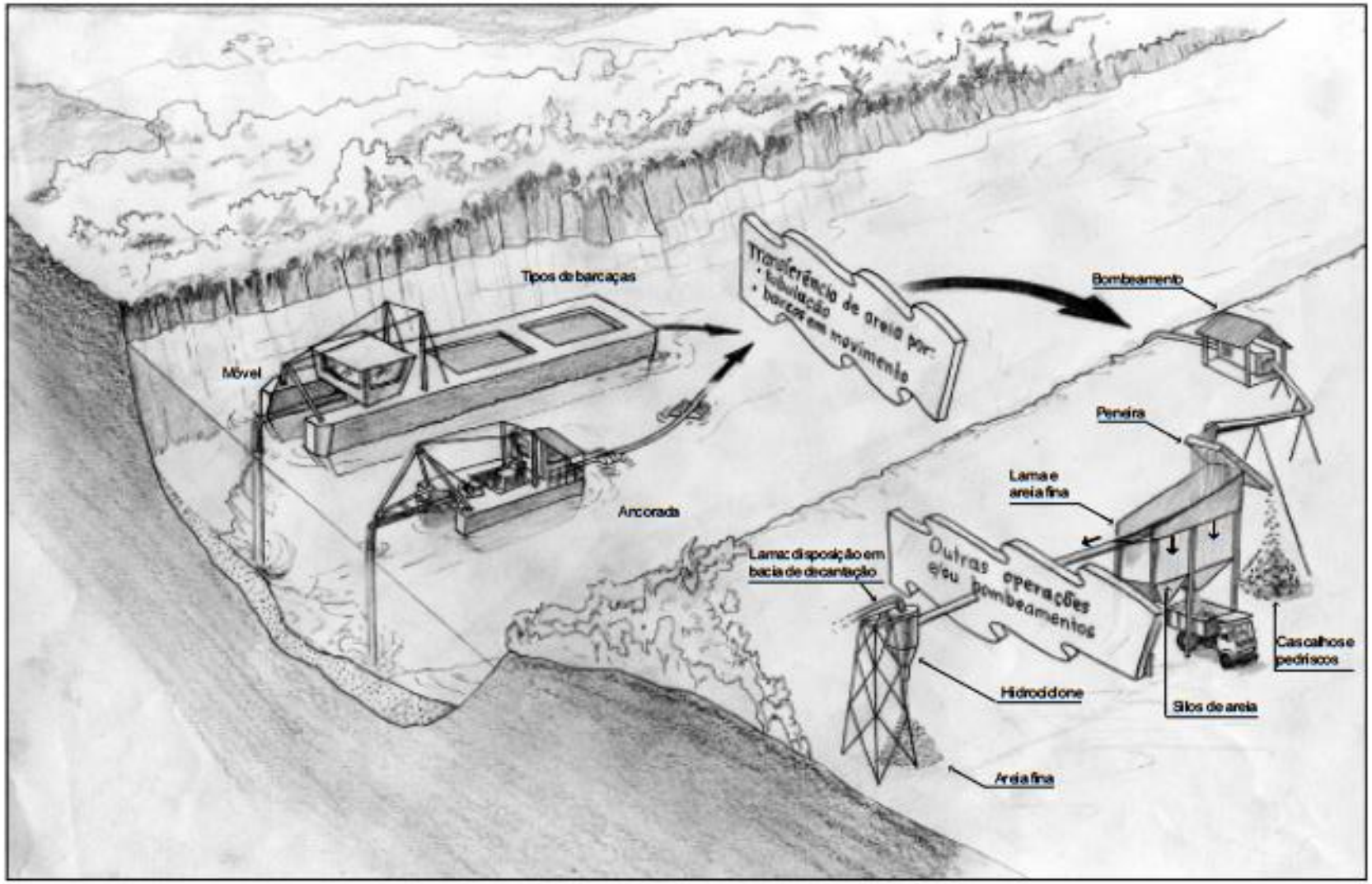
Nesse modelo de extração, a sucção bombeia a areia, mais os materiais que estão presentes no fundo do rio e a água, que é utilizada como o meio de transporte.

Aproximadamente todo o volume de água retirado do rio, volta para o mesmo, juntamente com os sedimentos mais finos, restando somente a parcela agregada na areia. Isso ocorre, enquanto o mineral extraído permanece na própria draga ou vai diretamente para os silos através de tubulações, e lá permanece para que escorra o excesso do líquido (NOGUEIRA, 2016).

Para Rolim (2016), primeiramente a areia fica estocada nas margens dos rios para sua secagem de forma natural, para logo após ser transportada para os depósitos. Em alguns casos, após a extração, o mineral fica armazenado em silos, onde passam pelo mesmo processo de secagem e posterior distribuição. Geralmente, o transporte é feito por caminhões até as distribuidoras ou depósitos de material de construção civil.

A dragagem nos leitos dos rios apresenta uma mobilidade e, consequentemente, versatilidade para a extração dos materiais. As balsas, onde ficam instalados todo o sistema de sucção dos sedimentos, são móveis podendo se deslocar por toda a área do rio que o empreendimento tem a licença de operação, possibilitando um amplo acesso ao recurso mineral.

Figura 12 - Modelo de dragagem hidráulica fixa e móvel.



Fonte: Almeida (2003)

4.3 A RELAÇÃO ENTRE O MEIO AMBIENTE E A EXPLORAÇÃO DA AREIA

Apesar da importância da areia na economia, tamanha necessidade não pode ser motivo para que sua produção não seja feita de forma sustentável no aspecto econômico, social e, o mais importante, no aspecto ambiental. Por esse motivo, é importante identificar, mitigar, remediar ou compensar os impactos ambientais causados por essa atividade.

O CONAMA em sua Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986, define impacto ambiental da seguinte forma:

> Art. 1º Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:
> I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
> II - as atividades sociais e econômicas;
> III - a biota;
> IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
> V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

As atividades extrativistas, somente pelo nome e não importando o porte do empreendimento, já são automaticamente associadas a impactos ambientais adversos. No caso da exploração da areia fica mais evidente por explorar e usar em seu processo um recurso natural escasso e de suma importância para todos, a água.

Para Souza (2020, p. 22), o processo de exploração mineral é pensado e realizado, somente, sob a ótica econômica da atividade. Isso leva a se atentar, cada vez mais, para uma proteção ambiental efetiva, se tratando de extração dos recursos naturais pela atividade humana, uma vez que a “sustentabilidade ambiental que ainda se encontra vigente no Brasil e na seara minerária perpassa muito mais pelo sentido de desenvolvimento – e apenas de desenvolvimento econômico - do que pela ideia de sustentabilidade com desenvolvimento.”

Com relação à produção da areia, Souza (2020) aponta que a extração do minério ocorre em importantes áreas para o meio ambiente (leitos dos rios ou suas proximidades), que ajudam na manutenção dos recursos hídricos, fazendo com que os impactos ambientais causem grandes preocupações. Ele destaca que os impactos advindos da exploração são, em sua maioria, negativos, em relação a natureza, muito pelo fato de utilizar processos ultrapassados.

A poluição da água, onde o empreendimento opera, também é outra consequência negativa. O rio pode ser contaminado com alguns elementos químicos, causando danos aos peixes, aos outros seres que usufruem do curso d’água e até os seres humanos, através do contato com o líquido ou a ingestão de peixes que foram contaminados (ROLIM, 2016).

Para Tibiriça (2017), a contaminação do recurso hídrico explorado pode ser agravada com a geração de efluentes ocasionada pelo derramamento de óleo e/ou combustíveis das máquinas e caminhões e, da mesma forma, pela modificação da turbidez da água. Ela destaca que os outros impactos ambientais são conhecidos e mitigáveis, tornando o local reutilizável futuramente, desde que o empreendimento seja acompanhado de profissional adequado. Para além dos danos supracitados com relação a água, elenca os seguintes efeitos negativos:

- degradação das Áreas de Preservação Permanente (APP) com a remoção da cobertura vegetal;
- modificação da paisagem, relevo, microclima e habitats;
- riscos de erosão pela alteração do perfil do solo;
- emissão de gases e partículas pela movimentação de caminhões e máquinas, gerando, consequentemente, a poluição sonora.

Nogueira (2016) descreve que independe o método de extração utilizado para ser causador de impactos negativos no meio ambiente. Contudo, o empreendimento areeiro pode variar o tipo de impacto dependo da fase de implementação em que se encontra. O Quadro 6 ilustra os diferentes impactos, apontados pelo autor, causados em cada momento de efetivação da empresa.

Quadro 6 - Impactos ambientais causados em cada fase de implementação da extração de areia.

FASE DO EMPREENDIMENTO	**IMPACTO AMBIENTAL**
Instalação	- Degradação da qualidade do ar. - Incidência de processos erosivos, diminuição da infiltração da água e depreciação da qualidade do solo. - Aumento da turbidez no curso d’água. - Desregularização da vazão dos cursos d’água. - Danos a microbiota do solo. - Instabilidade do solo nos ambientes ribeirinhos.

	- Redução do habitat e estresse da fauna silvestre. - Achatamento da base genética das espécies vegetais terrestres.
Operação	- Alteração da calha original dos cursos d'água. - Possibilidade de interferência na velocidade do curso d'água. - Contaminação causada por resíduos (óleos, graxas, lubrificantes). - Depreciação da qualidade física, química e biológica da água superficial. - Estresse da fauna aquática. - Achatamento da base genética das espécies animais e vegetais aquáticos. - Diminuição da possibilidade de usos variados da água. - Impacto visual (estruturas de extração, estocagem da areia e descaracterização da paisagem). - Depreciação do patrimônio público (avarias em pontes e estradas pelo maquinário pesado). - Risco de acidentes de trabalho (grande utilização de mão-de-obra braçal).
Desativação	- Menor oferta de areia, repercutindo negativamente sobre o desenvolvimento regional.

Fonte: Adaptado de Nogueira 2016.

A fase de desativação é onde ocorre um impacto negativo mais para o social/econômico, podendo acarretar uma diminuição da renda do local pelo corte dos impostos pagos ao Estado e diminuição do número de postos de trabalho. Contudo, é quando o meio ambiente tende a se renovar com a melhoria da qualidade química da água, reocupação do habitat pela microbiota, fauna terrestre e aquática e melhoria da capacidade de suporte do meio para a fauna silvestre, com a regeneração da cobertura vegetal (NOGUEIRA, 2016).

Silva (2012) também analisa os aspectos e impactos ambientais da exploração em partes para cada estágio da atividade. Segundo o autor, o empreendimento passa por 13 etapas e cada uma delas apresentando um impacto associado.

Na Etapa 1 ocorre a abertura de acesso ao local, viabilizando a entrada do maquinário, dos equipamentos para beneficiamento, oficina, estoque e bomba de jateamento, se no local for o caso de mineração por desmonte hidráulico. Ocorre aqui a retirada da cobertura vegetal, alterando a paisagem, e a emissão de particulados podendo gerar incômodos à população das proximidades. A remoção da vegetação impacta em maior grau a biodiversidade, como as aves (destruição de ninhos), pequenos mamíferos, répteis, insetos e o ruído afugenta a fauna local. Para o caso de dragagem em leito de rio, acontece o derramamento de material clástico em seu curso, aumento da turbidez e interferência da ictiofauna local.

A Etapa 2 sofre o decapeamento, a remoção do material estéril sem valor econômico, porém, não ocorrendo no método de dragagem hidráulica em leito submerso. Associa-se aqui os mesmos impactos da etapa anterior: supressão da vegetação, diminuição da biodiversidade com a destruição de ninhos e pequenos animais.

Na sequência, a Etapa 3 é onde realiza-se a abertura da cava, por meio da utilização de retroescavadeiras. Na mineração em várzeas ocorre a retirada das camadas superficiais de areia o que resulta na exposição do aquífero, já para o desmonte hidráulico, a cava é aberta para receber o material que será desprendido dos taludes. Mais uma vez, essa etapa não acontece nas minerações de leitos submersos. O grande impacto aqui é o rebaixamento do nível freático e a possibilidade do aumento da taxa de evaporação do aquífero.

Por outro lado, o autor informa que nessa etapa são criados e consolidados novos ecossistemas aquáticos, com a ocupação da área inundada por espécimes da região devido às cheias que espalham o conjunto de peixes presentes nos rios e lagos próximos, impossibilitando a sobrevivência dos mosquitos *aedes aegypti* nestes ambientes.

Na Etapa 4 é realizada a construção da infraestrutura (portaria, escritórios, vestiário, refeitório, oficinas, almoxarifado, silos de embarque, pátio de estoque) de forma contínua, de acordo com a necessidade do empreendimento. Essas atividades contaminam o solo e as águas

pelos materiais que são usados na edificação das estruturas, como tintas, vernizes, óleos e graxas dos equipamentos. Também a geração de resíduos sólidos por peças reparadas ou trocadas, plásticos, metais, madeiras, papéis e papelões.

Importante destaque de impacto dado por Silva (2012) aqui é em relação ao uso das instalações pelos colaboradores, na preparação e consumo de refeições, uso de banheiros e sanitários e nas áreas de lazer e descanso gerando uma variedade de tipos de resíduos que demandam descarte apropriado e os efluentes dos sanitários e banheiros que necessitam ser tratados corretamente.

A Etapa 5 comtempla a implementação do equipamento de jateamento, usado exclusivamente no desmonte hidráulico, onde se prepara o abrigo da bomba. Aqui, de acordo com o autor, os impactos são os mesmos descritos na etapa prévia.

Na Etapa 6 há a montagem, instalação e operação da balsa com a draga, para extração em cavas e leitos submersos. Os impactos associados, além dos descritos na Etapa 3, são a contaminação das águas por meio de derramamento de combustível durante o abastecimento das balsas.

A Etapa 7 é a instalação e operação da tubulação por onde o mineral será transportado até os silos e/ou estoque. Seus impactos incluem: resíduos gerados pela instalação e manutenção dos tubos, sobras de eletrodos de soldagem, parafusos, partes metálicas e borracha e rebaixamento do nível freático.

Etapa 8 é onde acontece a separação da areia em silos ou a estocagem direta nos pátios. Nesta fase o impacto crítico é o retorno da argila até a lagoa de decantação. Quando cheia, sua camada superficial apresentará sedimentos selecionados e de granulometria fina, potencializando a alteração da taxa de infiltração local das chuvas e mudando o balanço hídrico da região. Com tudo, só é observado na extração em várzea, os demais métodos bombeiam a areia livre de argila.

Na sequência, a Etapa 9, acontece o carregamento nos caminhões para distribuição e venda. A poluição do ar, solo e água fica à cargo dos próprios caminhões, quando os mesmos apresentam problemas de manutenção e, também, acarretam na geração de resíduos provindos dos tirantes que se rompem, enquanto as lonas são ajustadas nos caminhões.

A Etapa 10 é uma continuidade da anterior. Aqui é realizado o transporte da areia ao cliente, podendo ser diretamente no canteiro de obra ou em Casas de Materiais de Construção para ser revendida ao pequeno consumidor. Encontra-se nessa etapa impactos mais afastados do local de operação, pois os caminhões trafegam nas vias públicas até a entrega final. Além do já mencionado no estágio precedente, com relação à manutenção, há possibilidade de

derramamento de areia no trajeto, caso a lona da cobertura não esteja bem colocada ou se romper os tirantes que a mantém esticada, podendo ocasionar acidentes de trânsito. Há, também, um aumento na dispersão de particulados, pois as vias, na grande maioria dos casos, não possuem pavimentação e o tráfego dos veículos pesados, juntamente com os ventos, podem levar poeira a grandes distâncias.

A Etapa 11, listada pelo autor, representa a construção dos taludes, não ocorrendo na mineração em leito dos rios. Nesse tipo de extração, a cava que recebe a areia e água, da mesma forma é preenchida por rejeitos encontrados na mineração (pedaços de rochas e madeiras). O maior perigo é de acidente com os veículos, podendo cair na lagoa, poluindo as águas com óleo e combustível e, no pior dos cenários, risco de afogamento do motorista.

Na Etapa 12 há o desmonte da instalação da mineração. A contaminação do solo com restos de equipamentos e das instalações e, em minerações no leito do rio, o aumento da turbidez da água com a remoção das balsas e a desativação do porto de areia são os principais impactos.

Por fim, na Etapa 13, ocorre o reflorestamento. Aqui, devido ao plantio de vegetação para recuperar a área degradada pela mineração, o aspecto ambiental fica atrelado a um possível uso de agrotóxicos que podem contaminar as águas, dos rios, lagoas e aquíferos como, também, o plantio de espécies dominadoras, impedindo que as espécies nativas retornem.

A rigidez locacional dos minérios, ou seja, a extração deve ser realizada onde há a sua ocorrência, impossibilita de procurar lugares que os impactos ambientais sejam minimizados ao máximo para a sociedade e meio ambiente, restando à mineradora operar em locais, muitas das vezes, onde o prejuízo será maior, como em APPs como é o caso da extração de areia.

É inegável que existe um conflito diante de uma questão nada simples de se resolver: desenvolvimento social e econômico por meio da exploração mineral de um lado e a necessidade de preservar e proteger o meio ambiente de outro. A partir desse dilema, faz-se cada vez mais necessária a discussão e busca de maneiras e métodos para que a escolha de um não cause um prejuízo irreversível no outro.

4.4 CONTRIBUIÇÕES DA PE E P+L PARA MELHORAR O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE AREIA

Atividades extrativistas, como a mineração, já são condicionadas a seguir parâmetros e regras previstos na legislação para não impactar demasiadamente o meio que está inserido. Contudo, não implica que, com toda a regulação já existente, não se possa buscar melhorias em

todo o processo visando, não somente, o bem-estar ambiental, como também o financeiro para o empreendimento.

O Quadro 7 mostra os impactos causados em cada fase da extração de areia e as propostas de melhorais com base nos conceitos de PE e P+L.

Quadro 7 - Impactos ambientais por fase do empreendimento e soluções segundo PE e P+L.

FASES DO EMPREENDIMENTO		IMPACTOS AMBIENTAIS	PROPOSTA DE MELHORIAS
Instalação	Abertura de acesso ao local e remoção da camada vegetal.	Depreciação da qualidade do ar; Poluição do solo e da água (óleos e graxas); Perda da biodiversidade terrestre e aquática; Modificação da paisagem.	- Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) - Manutenção do maquinário - Estocar camada de solo removida
	Construção da infraestrutura, instalação do maquinário (draga) e da tubulação.	Contaminação do solo e da água (tintas e vernizes); Geração de resíduos sólidos.	- 5S - Materiais recicláveis - Blocos de encaixe
Operação	Funcionamento do maquinário (draga e bomba de jateamento), separação e estocagem.	Poluição dos cursos d'água (óleo); Diminuição da qualidade do ar; Poluição sonora;	- *Kanban* - Manutenção dos equipamentos de dragagem - Padronizar processo de abastecimento
	Carregamento e transporte da areia.	Poluição a cargo das máquinas e caminhões (óleos, graxas, depreciação de pontes e estradas)	- Mapeamento do Fluxo de Valor - Otimizar o processo de carregamento - Manutenção
Desativação	Retirada dos equipamentos e instalações e reflorestamento.	Contaminação com resíduos das instalações desmontadas; Diminuição da oferta de areia.	- Manutenção preventiva.

Fonte: o autor.

Primeiramente será analisado as contribuições dos conceitos e ferramentas que a Produção Enxuta pode agregar no processo, passando por todas as fases do empreendimento. Na sequência será feita a mesma análise sob a ótica da Produção mais Limpa.

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), ferramenta da PE, permite que se descreva todo o sistema de produção, partindo da aquisição da matéria-prima até a entrega ao consumidor final. Tal ferramenta já pode ser implementada no início do processo de extração, para empresas que ainda se encontram nessa fase, neste caso é a preparação da área da lavra. Ao ter todo o processo produtivo mapeado é possível ter uma estimativa da quantidade de mineral que será extraído, evitando, nessa etapa, que a abertura de acesso ao local e a remoção da cobertura vegetal seja mais do que o necessário para comportar a areia extraída.

Ainda na etapa de instalação do empreendimento é necessário que se construa uma infraestrutura como refeitório, vestiário e instalações sanitárias. Aqui, uma das ferramentas que pode obter melhor êxito é o 5S. Dentro da construção civil, a Produção Enxuta é também aproveitada sob o nome de construção enxuta. Conforme já mostrado neste trabalho, na seção 2.2, o 5S pode ser implementado na construção da infraestrutura organizando a alocação dos materiais, direcionando toda a equipe para executar a mesma etapa através da formação de um "lote de produção" e diminuir a variabilidade com a padronização do fornecedor de materiais e com o treinamento dos funcionários para a execução das atividades. A implementação dessa ferramenta, através dos passos mostrados acima, permite diminuir o tempo de transporte e de fluxo, diminuindo, também, possíveis retrabalhos por má qualidade na execução e, consequentemente, menor geração de resíduos sólidos.

A principal preocupação com a extração de areia, sob a ótica de impacto ambiental, está ligada a poluição da água, bem escasso e essencial para toda vida. Dessa forma, diminuir o tempo que a draga está em funcionamento bombeando a areia tem bastante importância para minimizar tal impacto.

Almeida (2019) mostrou que a ferramenta *kanban* pode ser utilizada para o ensaque de areia e pedra brita. Esse termo em japonês significa cartão ou sinal, tem por objetivo disparar ordens de produção baseada na demanda final, produtos que irão vender, e diminuindo o acúmulo de estoques. O trabalho da draga pode estar condicionado à emissão de sinais, como uma adaptação do *kanban*, mas com o intuito de fazer a produção ser puxada, para que entre em funcionamento sob a demanda requerida nos pátios de estocagem ou silos, deixando a areia guardada em seu local natural.

Essa prática pode fazer com que diminua as horas em atividade da draga evitando um vazamento de óleo do motor que a compõe e aumentando sua vida útil. Além disso, esse controle do tempo de operação, baixa a poluição sonora no entorno da lavra e, também, ameniza a deformação da paisagem, onde não há os silos de estocagem, com montes de areia aguardando serem transportados. Do mesmo modo, o desperdício da superprodução também é minimizado.

O MFV aplicado na fase de operação de empreendimentos já em atividade ajuda a identificar quais procedimentos agregam valor e quais deles devem ser eliminados, quando possível, ou diminuídos por configurar em perdas para o processo. Pode-se destacar movimentação desnecessária do maquinário, tanto para carregamento quanto para estocagem da areia, acarretando em aumento da má qualidade do ar e desperdício de combustível.

Passando para a perspectiva da Produção mais Limpa, em seu conceito, combater a geração de resíduos na fonte modificando os processos e produtos. Partindo desse pensamento, a remoção da camada de solo com matéria orgânica, no início da instalação, pode ser estocada para posterior reutilização quando chegar a hora da desativação, economizando energia das máquinas e caminhões em ambas as fases e devolvendo o ambiente o mais próximo do original antes da exploração da areia.

Nessa atividade também é ponto a se atentar para que a manutenção dos equipamentos (máquinas e caminhões) utilizados na remoção estejam com a manutenção em dia para não haver uma quebra no local, aumentando, e muito, os riscos de contaminação do solo e das águas com o derramamento de produtos nocivos, como também a geração de resíduos sólidos das peças a serem trocadas geradas pela quebra.

A manutenção dos equipamentos surge como uma maneira de prevenir impactos ambientais em todas as fases do empreendimento. Do início até a desativação, ocorre a utilização de máquinas e caminhões. Por isso, ter todo esse equipamento em boas condições de conservação ajuda a mitigar possíveis danos ao ambiente.

Ainda sob essa ótica, a draga merece especial atenção. Ela fica alocada, no caso de extração em leitos submersos, sobre os rios e, caso ocorra alguma falha ou quebra desse equipamento, o derramamento de efluentes e peças é diretamente no curso d’água que dissemina a poluição ao longo do seu leito. Manter a manutenção em dia, além de diminuir os riscos de contaminação ambiental, não gera possibilidades de paradas no processo, ocasionando perdas de vendas.

Para a construção das instalações dos vestiários, refeitórios e sanitários, a utilização de blocos de encaixe na obra diminuirá o tempo de execução e a geração de sobras de materiais, economizando, também, tempo com limpeza e descarte.

Nos demais processos da lavra da areia, pode-se incorporar treinamento para os funcionários para executar o procedimento de abastecimento da draga, com o uso padronizado de equipamentos e local apropriado; aprimorar a maneira de conduzir o maquinário no momento do carregamento dos caminhões para economia de combustível, evitando manobras desnecessárias.

A modificação tecnológica, como por exemplo o uso de equipamentos elétricos, caminhões e motores, é uma abordagem, incluída na modificação do processo, dentro da ótica hierárquica da Produção mais Limpa. Contudo, a grande maioria dos empreendimentos de extração de areia são compostas de micro e pequenas empresas familiares, muita das vezes não chegando a 10 funcionários, tornando-se uma solução financeiramente inviável de ser aplicada.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou incorporar, de forma conjunta, as ideias dos princípios da Produção Enxuta e Produção mais Limpa na lavra de areia em leitos dos rios buscando melhorar a eficiência e amenizar os impactos causados pela atividade. A mineração é um dos principais pilares econômicos do Brasil, e a areia, participante desse setor, tem sua parcela de contribuição, com geração de empregos, direta e indiretamente, ajudando no desenvolvimento de microrregiões que estão no entorno.

Realizou-se, para este fim, pesquisa bibliográfica de cada um dos modelos de produção supracitados, a fim de compreender seus preceitos e o que procuram combater dentro dos processos produtivos. Contatou-se que, em ambos os modelos, seu ponto de convergência é eliminar os desperdícios, mesmo que tendo propósitos distintos. Para se obter maior competitividade no mercado, sob a ótica da PE, pela necessidade de competição com outro sistema vigente na época de sua criação; e gerar menos resíduos e, consequentemente, mitigar impactos ambientais segundo a P+L.

O capítulo 2, onde se discorre sobre o referencial teórico, fica evidenciado que o Sistema Toyota de Produção, como também é conhecido a Produção Enxuta, ainda possui ampla utilização enquanto que a Produção mais Limpa foi ampliada para o conceito de *Design for Sustainability*, onde não se fecha apenas para o processo de produção, mas se busca englobar todo o ciclo de vida. Entretanto, ainda é possível utilizar as ideias da P+L para processos produtivos simples, como no caso da extração de areia.

Para se atingir o objetivo de melhorar a eficiência da extração de areia, além de compreender os conceitos, ferramentas e similaridades da PE e P+L, fez-se necessário conhecer a importância da atividade minerária da areia e seu processo de extração. Verificou-se que o ramo é concentrado em esfera local, curtas distâncias entre o produto e o consumidor, pois o custo de transporte do mineral corresponde a maior parcela de seu preço final, podendo chegar a mais que 2/3 do valor. Outro fator contribuinte observado, além da geração de empregos, foi a arrecadação dos impostos, principalmente, através da CFEM.

O processo produtivo da extração de areia pode ser feito de duas maneiras: desmonte hidráulico ou dragagem nos leitos submersos. Constatou-se essa separação pelo local onde o mineral pode ser encontrado. No primeiro, o mineral está alocado em encostas e é necessário a desagregação dele dos outros materiais, usando jatos de alta pressão, para a posterior extração. No segundo método, a areia é extraída diretamente do fundo dos rios usando-se dragas de sucção.

Verificou-se, também, que a atividade de extração de areia, de maneira geral, consiste nas fases de instalação, com abertura de acesso a lavra e construção de infraestrutura necessária para funcionamento, de operação, momento onde, de fato, ocorre a extração e a comercialização da areia e de desativação, quando se encerra toda a exploração da areia e é revitalizada a área degradada.

Dentro desse macroprocesso, que envolve as três fases supracitadas, observou-se que os principais impactos causados pela extração de areia são: poluição do solo e da água devido ao trânsito constante de máquinas, caminhões e operação da draga; supressão vegetal; poluição sonora e paisagística; perda da biodiversidade aquática e terrestre; geração de resíduos sólidos; depreciação da qualidade do ar.

A partir desse levantamento dos impactos verificou-se que, baseado na literatura apresentada neste trabalho, é possível utilizar algumas ferramentas da PE e P+L dentro do processo produtivo de extração de areia, sendo elas o MFV, o 5S, o *kanban* e manutenções preventivas, em todas as fases do empreendimento, para se evitar desperdícios.

Em estudos futuros, pode-se verificar, *in loco*, se as propostas de inclusão das ferramentas na atividade de extração de areia diminuem, ou eliminam, as ineficiências e desperdícios do processo e se contribuem para amenizar os danos ao meio ambiente que a mineração naturalmente ocasiona. Outrossim, utilizar-se do conceito de *Design for Sustainability* para percorrer todo o ciclo de vida e avaliar os possíveis ganhos com a melhoria de toda a cadeia.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, M. R.; PONTES, H. L. J. **Gestão de processos e técnicas de produção enxuta**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2016.

ALMEIDA, A. S. Métodos de mineração. In: TANNO, L. C,; SINTONI, A. (Coord.). **Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. P. 61-85. (Publicações IPT, 2850).

ALMEIDA, P. V. O. **APLICAÇÃO DO SISTEMA KANBAN COM UM ÚNICO CARTÃO NO ENSAQUE DE AREIA E PEDRA BRITA**. 2019. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Gestão de Processos Industriais, Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2019. Disponível em: http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4613. Acesso em: 10 jul. 2023.

ANEPAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **História da Areia e Brita**. c2023. Disponível em: https://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita. Acesso em: 17 jun. 2023.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro Interativo**. 2023. 10 slides, color. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/producao-mineral. Acesso em: 19 jun. 2023.

_____. **Anuário Mineral Brasileiro**: principais substâncias metálicas. 2020. Ano Base 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro. Acesso em: 17 jun. 2023.

ARANTES, V. S. R. **Produção enxuta aplicada à construtoras de pequeno e médio porte**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BARROS CORREIA, J. V. F. Contextualização dos princípios da construção enxuta: aplicação da filosofia enxuta do Sistema Toyota de produção na indústria da construção civil em exemplos práticos. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, *[S. l.]*, v. 4, n. 3, p. 29, 2018. Disponível em: https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/4826. Acesso em: 16 abr. 2023.

BRASIL (1986). **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. 4p. Brasília.

CEBDS – CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Guia da Produção Mais Limpa: Faça Você Mesmo**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://cebds.org/publicacoes/guia-para-producao-mais-limpa-faca-voce-mesmo/. Acesso em: 15 abr. 2023.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **A Produção mais Limpa e o consumo sustentável na América Latina e Caribe.** São Paulo, 2004. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/documentos/. Acesso em 15 abr. 2023.

_____. **Redução do uso de matérias-primas e do consumo de água em célula galvânica de estanho ácido**. São Paulo, 2012. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/casos-de-sucesso/reducao-na-fonte-tecnologias-mais-limpas/. Acesso em: 15 abr. 2023.

CNTL – CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre, 2003. Disponível em: https://www.senairs.org.br/documentos/implementacao-de-programas-de-producao-mais-limpa. Acesso em: 15 abr. 2023.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ELAW – ENVIRONMENTAL LAW ALLIANCE WORLDWIDE. **Guidebook for evaluating mining project EIAs**. Eugene, OR: Environmental Law Alliance Worldwide, 2010.

ELIAS, S. J. B.; MAGALHÃES, L. C. Contribuição da Produção Enxuta para obtenção da Produção mais Limpa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABEPRO, 2003. p.1-8.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Lean Manufacturing and the Environment**: research on advanced manufacturing systems and the environment and recommendations for leveraging better environmental performance. 2003. Disponível em: https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/lean_environment_report.pdf. Acesso em: 17 jun. 2023.

FELÍCIO, E. A. **Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

FRANCO, E. F. **Um modelo de gerenciamento de projetos baseado nas metodologias ágeis de desenvolvimento de software e nos princípios da produção enxuta**. 2007. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-09012008-155823. Acesso em: 18 de abril de 2023.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 - Ano base 2019**. 2020. Disponível em: https://ibram.org.br/publicacoes/. Acesso em: 17 jun. 2023.

JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C. **Gestão ambiental nas organizações**: fundamentos e tendências. São Paulo: Atlas, 2013.

KLIPPEL, A. F. **Implementação da gestão enxuta em empresas de mineração a partir de um modelo de gestão integrada:** uma perspectiva de sinergia entre a Engenharia de Minas e a Engenharia de Produção. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KRAJEWSKI, L. J. *et al*. **Administração de produção e operações**. 11ª ed. – São Paulo: Pearson Education, 2017.

LÉLIS, E. C. (org.). **Administração da Produção**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota**: manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MALAQUIAS, W. R. **Contribuições da produção enxuta e produção mais limpa para a melhoria de processos produtivos**: um estudo de caso. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

MANCIN, R. C. **Análise: Estagnação de pesquisas em mineração gera expectativas negativas**. 2012. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2012/07/1118333-analise-estagnacao-de-pesquisas-em-mineracao-gera-expectativas-negativas.shtml. Acesso em: 13 abr. 2023.

MANZAN, R. **Busca da P+L por meio da produção enxuta**: estudo de casos múltiplos em indústrias de fundição. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório técnico 31. Perfil de areia para construção civil**. 2009. Disponível em: < https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/a-mineracao-brasileira/documentos/p22_rt31_perfil_de_areia_para_construxo_civil.pdf/view >. Acesso em 13 de abr. de 2023.

MORENGHI, L. C. R. *et al*. Produção Mais Limpa e Produção Enxuta: Haverá simbiose na busca de conformação ambiental com a flexibilização dos fatores de produção?. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. p.1-12

NOBRE FILHO, P. A. *et al*. Sustentabilidade Ambiental da Extração de Áridos: A lavra de areia no canal ativo do Rio Canindé – Paramoti – Ceará. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 1, p. 5-12, 2012.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos:** proposição de uma matriz de interação**.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

REIS, C. C. C. *et al*. Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise do canteiro de obras. **Revista da FAE**, *[S. l.]*, v. 20, n. 1, p. 42–58, 2017. Disponível em: https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/201. Acesso em: 30 abr. 2023.

RIZZO, G. V.; BATOCCHIO, A. **Manufatura Sustentável:** Estudo e Análise da Adopção Articulada das Tecnicas de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta. In.: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVENCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., 2011, São Paulo. **Anais…** São Paulo: UNIP, 2011. p.1-9.

ROLIM, N. D. **Sustentabilidade:** uma análise da extração de areia em cursos de água doce em Minas Gerais**.** 2016. Dissertação (Mestrado em Direito) – Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte, 2016.

ROSSI, M. T. B.; BARATA, M. M. L. Barreiras à Implementação de Produção Mais Limpa Como Prática de Ecoeficiência em Pequenas e Médias Empresas no Estado do Rio de Janeiro. In.: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVENCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo, 2009.

SANTOS, C. A. **Produção Enxuta**: uma proposta de método para introduçġo em uma empresa multinacional instalada no brasil. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-MEC), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/8776. Acesso em: 15 abr. 2023.

SANTOS, E. M. *et al*. **Produção Mais Limpa: elementos para discussão e análise**. 2006. 19° Congresso Internacional de Administração. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260061066_Producao_mais_Limpa_elementos_para_discussao_e_analise. Acesso em: 15 abr. 2023.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: o ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 2007.

SILVA, J. P. M. Agregados e sustentabilidade. In: Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.13. p.237-255.

SILVA, R. G. da; SILVA, V. P. da. Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. **Cerâmica**, [S.L.], v. 63, n. 368, p. 494-507, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633682173.

SLACK, N. *et al*. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, R. G. **Mineração de Areia em Áreas de Preservação Permanente**: uma análise interpretativa constitucional a nível nacional. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Jurídicas) – Universidade Federal da Paraíba, Santa Rita, 2020.

TIBIRIÇÁ, L. G. **Aspectos econômicos e sociais da mineração em Goiás, com ênfase na extração de areia**. 2017. 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Design for Sustainability:** a step-by-step approach. 2009. Disponível em: https://www.unep.org/resources/report/design-sustainability-step-step-approach. Acesso em: 17 jun. 2023.

VIEIRA, E. G. *et al*. Exploração Mineral de Areia e Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: **Sustainability In Debate**, v. 6, n. 2, p. 171 - 192, 31 ago. 2015.

WBCSD – WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Eco-efficiency Learning Module. (2006). Disponível em: https://www.wbcsd.org/Projects/Education/Resources/Eco-efficiency-Learning-Module. Acesso em: 13 abr. 2023.

WERNER, E. M. *et al*. **Produção Mais Limpa: Conceitos e Definições Metodológicas**. 2009. VI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/artigos2009.php?pag=74. Acesso em: 13 abr. 2023.

WILDAUER, E. W.; WILDAUER, L. D. B. S. **Mapeamento de processos**: conceitos, técnicas e ferramentas. Curitiba: InterSaberes, 2015.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de julho de 2023.

Felipe do Carmo Silva	201249061
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
Felipe do Carmo Silva	101.716.706-04
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.