

Estudo da Avaliação do Ciclo De Vida - ACV da Produção de Pelotas de Minério de Ferro

Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani

Bolsista Capacitação Institucional, Planejamento Energético, D.Sc. COPPE-UFRJ

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Orientador, Engenharia Mineral, D. Sc.

Resumo

O objetivo do presente estudo é avaliar os impactos ambientais associados à produção de pelotas de minério de ferro, através de um estudo de caso, utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) baseado na norma ISO 14040. A unidade funcional foi definida como uma tonelada de pelotas de minério de ferro e os dados utilizados foram coletados a partir de visitas técnicas e relatórios de produção da empresa em estudo. A avaliação dos impactos foi feita pela metodologia ReCiPe e o software utilizado para tratamento dos dados foi o SimaPro 8.02. De acordo com os resultados obtidos os principais impactos ambientais do processo de pelletização são referentes às categorias de formação fotoquímica, acidificação terrestre e ocupação da terra urbana. O processo de beneficiamento é relevante nas categorias de Ocupação da Terra Agrícola, Ecotoxicidade Terrestre, Ecotoxicidade Água. Enquanto o processo de lavra os impactos mais relevantes apontam para Material Particulado, e depleção de recursos naturais.

1. Introdução

O setor de minério de ferro tem consumo elevado de recursos e energia, o que conseqüentemente gera grandes quantidades de emissões gasosas, líquidas e sólidas, contaminantes do meio ambiente. Por isso, é de grande importância fazer uma avaliação do setor no que se refere às questões ambientais, tornando-se necessário conhecer, quantificar e qualificar os recursos utilizados, os resíduos, bem como as emissões geradas (LIMA et al., 2015).

Nesse contexto, destaca-se a importância de se realizar estudos de Avaliação do Ciclo de Vida - ACV. A ACV é um instrumento de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo, que compreende etapas. Estas etapas vão desde a retirada das matérias-primas, elementares da natureza, que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição do produto final após uso (túmulo). A ACV é atualmente um dos métodos mais promissoras para avaliar e classificar os aspectos e impactos ambientais de um produto (BLENGINI et al., 2012). A experiência internacional na realização de ACV da produção do minério de ferro é ainda pouco aprofundada. Em geral, a abordagem do minério é realizada como insumo em estudos de ACV da produção de aço. (CHEN, YANG e OUYANG, 2011; BURCHART-KOROL, 2013; Li et al., 2002).

Para Durucan et al. (2006) o número limitado de ACV de mineração é devido à falta do pensamento do ciclo de vida nesse setor industrial. Os autores consideram que pouco tem sido feito para melhorar a qualidade dos

dados dos processos de mineração, denotando que alguns fatores de relevante impacto ambiental são raramente levados em consideração.

Awuah-Offei e Adekpedjou (2011) mencionam que apesar da crescente aplicação da ACV na avaliação de sistemas e produtos em geral, ocorre uma limitação do seu uso para o setor de mineração. Os autores recomendam que pesquisas sejam realizadas para o desenvolvimento de uma metodologia específica de ACV em mineração, que permita a análise da sensibilidade e incertezas associadas com a coleta de dados cobrindo as dimensões espacial e temporal.

2. Objetivo

O presente artigo tem por objetivo avaliar o ciclo de vida da produção de pelotas de minério de ferro, através da identificação dos impactos ambientais gerados nas etapas de lavra, beneficiamento, transporte e pelletização, com o intuito de dar subsídios a medidas mitigadoras.

3. Material e Métodos

A metodologia de pesquisa está dividida em três etapas conforme mostrado na Figura 1: (1) conceitual, que é composta pelo levantamento bibliográfico; de elaboração do protocolo de pesquisa (questionário) e de seu pré-teste, com a consequente geração do modelo de pesquisa; (2) prática, onde foram realizadas as visitas técnicas, coleta de dados nas diferentes fases do processo produtivo; e (3) aplicação direta, onde foi feita a modelagem do sistema e as etapas da ACV na empresa em estudo.

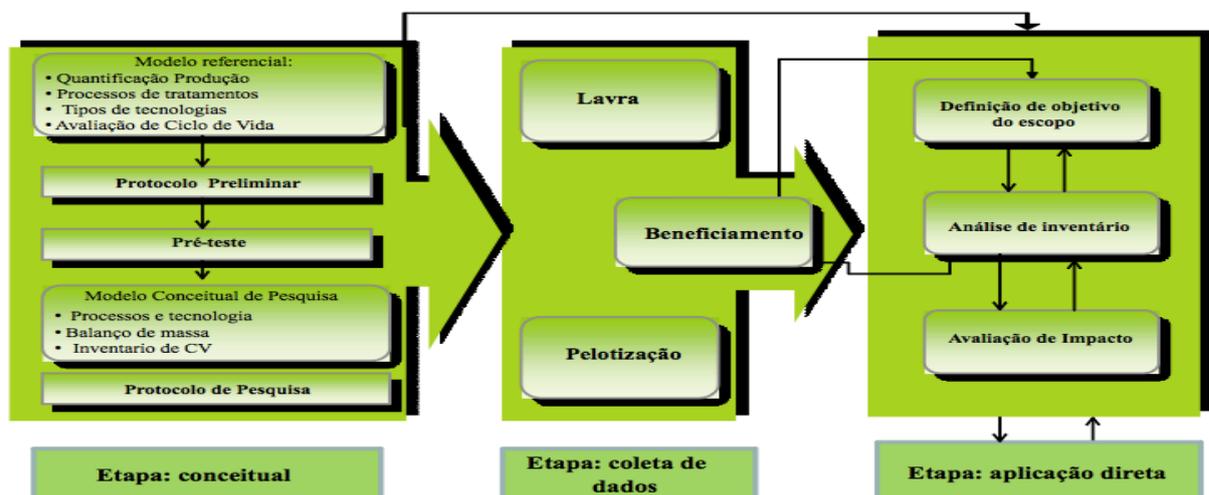


Figura 1. Modelo de Pesquisa

3.1 Definição do Escopo

Avaliar os impactos do ciclo de vida da empresa SAMARCO, associados às operações de lavra, seu beneficiamento e a produção de pelotas (pellets) de minério de ferro. A partir do modelo de pesquisa proposto se

delimitaram o escopo desta ACV conforme os resultados da visita técnica. Nesta etapa, alguns limites foram demarcados para obter um inventário que satisfizesse os requisitos de um estudo empírico.

A unidade funcional definida para o estudo é de 1 tonelada (uma tonelada) de pelotas (pellets) de minério entregues no navio no porto de UBU na SAMARCO em Anchieta/ES. A fronteira geográfica do estudo compreende o limite de bateria das instalações físicas da lavra e beneficiamento SAMARCO Unidade Germano em Mariana/MG, os minerodutos, unidade de pelotização SAMARCO Porto de Ubu em Anchieta/ES, até a entrega do produto ao navio. A fronteira temporal compreende de ao ano de 2013, sendo consideradas as possíveis oscilações sazonais. Trata-se de um ACV do berço ao portão “cradleto gate”.

O Inventário do Ciclo de Vida da produção de pelotas de minério de ferro foi realizado no software Simapro versão 8.02. O inventario compreende todas as intervenções ambientais dos processos modelados para a produção da pelota conforme a visto na Figura 2.

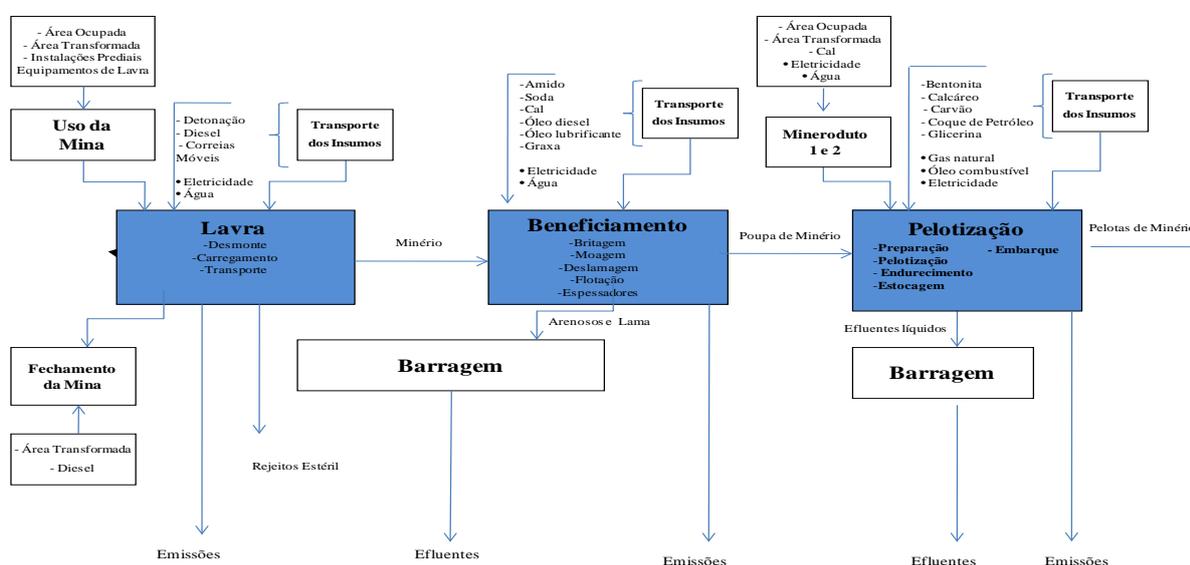


Figura 2: Modelagem do Sistema da Pelota de Minério de Ferro

3.2 Método de Avaliação de Impacto

Para realizar a AICV é necessária a aplicação de uma metodologia que correlacione o resultado do inventário com os diferentes impactos ambientais. Sendo assim, utilizou-se a metodologia de avaliação de impacto ambiental do ReCiPe v1.08, desenvolvida por RIVM, Radboud University, CML e Pré Consultants presente no software SimaPro. Essa metodologia procura harmonizar, nos modelos ambientais, os impactos orientados aos problemas (mid point) e às categorias de danos (end point). Nos últimos anos tem sido usualmente aplicada em substituição aos métodos, até então, comumente usados como o Eco-indicator (GOEDKOOP et al., 2009). Na metodologia ReCiPe são utilizados as seguintes categorias de impactos ambientais associadas às três categorias de danos:

- Categoria de danos à Saúde Humana (em DALY - disability-adjusted life year): Mudanças Climáticas; Depleção de Ozônio; Toxicidade Humana; Formação fotoquímica; Material Particulado; Radiação Ionizante;

- Categoria de danos aos Ecossistemas (em espécies.ano): Mudanças Climáticas Ecossistemas; Acidificação Terrestre; Eutrofização Água; Ecotoxicidade Terrestre, Ecotoxicidade Água e Ecotoxicidade Marinha; Transformação da Terra Natural; Ocupação da Terra Agrícola e Urbana;

- Categoria de danos de Consumo de Recursos (em unidade monetária \$): Depleção de Recursos Minerais; Depleção de Combustíveis Fósseis.

4. Resultados e Discussão

4.1 Resultados da avaliação de impacto

A Tabela 1, a seguir, apresenta os resultados da Avaliação do ciclo de vida AICV pela metodologia ReCiPe End Point de todo o da pelota de minério de ferro da Samarco para as categorias de impacto.

Tabela 1: Resultados da AICV da pelota de ferro Samarco pela metodologia ReCiPe End Point World

	Categoria de Impacto	Unidade	Total
Saúde Humana	Mudanças Climáticas	DALY	5,30E-05
	Depleção de Ozônio	DALY	2,10E-08
	Toxicidade Humana	DALY	1,40E-06
	Formação fotoquímica	DALY	2,20E-08
	Material Particulado	DALY	7,00E-04
	Radiação Ionizante	DALY	6,00E-08
	Mud. Climáticas Ecossistemas	espécies.ano	3,00E-07
Ecossistemas	Acidificação Terrestre	espécies.ano	3,40E-09
	Eutrofização Água	espécies.ano	7,40E-10
	Ecotoxicidade Terrestre	espécies.ano	3,50E-09
	Ecotoxicidade Água	espécies.ano	6,40E-12
	Ecotoxicidade Marinha	espécies.ano	8,20E-12
	Ocupação da Terra Agrícola	espécies.ano	9,70E-08
	Ocupação da Terra Urbana	espécies.ano	3,80E-08
Recursos Naturais	Transformação da Terra Natural	espécies.ano	5,20E-08
	Depleção de Recursos Minerais	\$	5,80E+01
	Depleção de Combustíveis Fósseis	\$	4,00E+00

Pode-se observar que para os impactos das categorias de danos a Saúde Humana, Ecossistemas e Consumo de Recursos as categorias de impacto mais relevantes, respectivamente, são: Material Particulado (92,8%), Mudanças Climáticas no Ecossistema (60,8%) e Depleção de Metais (93,5%). Os impactos de Mudanças Climáticas (7,0%), Ocupação da Terra Agrícola (19,9%), Ocupação de Terra Urbana (7,9%), Transformação da Terra Natural (10,5%) e Depleção Fóssil (6,4%) também são relevantes e foram levadas em consideração para análises seguintes da ACV.

Na Tabela 2 são apresentados os percentuais dos processos da lavra, beneficiamento e pelotização por categoria de impacto. Assim como os principais impactos dos insumos da pelotização.

Tabela 2. Resultados da AICV da pelota de minério de ferro por processos pela metodologia ReCiPeEndpoint World

Categoria de Impacto	Unidade	Lavra	Beneficiamento ^b	Pelotização ^a	Bentonita	Óleo	Carvão	Elétrica	Gas Natural	Outros
Mudanças Climáticas	DALY	11%	30%	0%	4%	2%	12%	18%	6%	17%
Depleção de Ozônio	DALY	1%	5%	0%	5%	70%	1%	2%	4%	13%
Toxicidade Humana	DALY	4%	50%	0%	18%	2%	3%	10%	2%	11%
Formação fotoquímica	DALY	13%	6%	62%	1%	2%	2%	2%	3%	8%
Material Particulado	DALY	93%	1%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Radiação Ionizante	DALY	3%	32%	0%	7%	3%	6%	22%	7%	19%
Mudanças Climáticas										
Ecosistemas	espécies.ano	11%	30%	0%	4%	2%	12%	18%	6%	18%
Acidificação Terrestre	espécies.ano	8%	9%	58%	2%	1%	4%	3%	8%	8%
Eutrofização Água	espécies.ano	1%	17%	0%	5%	0%	62%	8%	1%	5%
Ecotoxicidade Terrestre	espécies.ano	1%	54%	0%	2%	0%	0%	33%	0%	9%
Ecotoxicidade Água	espécies.ano	4%	54%	0%	5%	0%	1%	13%	4%	17%
Ecotoxicidade Marinha	espécies.ano	4%	32%	0%	10%	1%	2%	7%	23%	20%
Ocupação da Terra Agrícola	espécies.ano	0%	81%	0%	1%	0%	3%	11%	0%	3%
Ocupação da Terra Urbana	espécies.ano	19%	17%	42%	2%	0%	13%	1%	0%	7%
Transformação da Terra Natural	espécies.ano	1%	25%	14%	23%	0%	4%	18%	6%	8%
Depleção de Recursos										
minerais	\$	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Depleção Fóssil	\$	5%	9%	0%	3%	5%	24%	4%	39%	11%

^a Intervenções ambientais do próprio processo de Pelotização não oriundas de outros processos, e.g. emissões do forno de pelotização, e outros, não incluindo beneficiamento e lavra

^b Intervenções ambientais não incluindo a lavra

O processo de politização é relevante nas categorias de impacto ambiental de formação fotoquímica (62%), acidificação terrestre (58%) e ocupação da terra urbana (42%). Já o consumo de óleo combustível é relevante para a depleção de ozônio. As outras fontes energéticas tem relevância para as categorias de mudanças climáticas radiação ionizante, ecotoxicidade terrestre para a eletricidade utilizada na pelotização e depleção fóssil e ecotoxicidade marinha para o gás natural. Já o carvão utilizado no processo gera impactos na depleção de fósseis e eutrofização da água.

O processo de beneficiamento é relevante nas categorias de impacto de Ocupação da Terra Agrícola (81%), Ecotoxicidade Terrestre, (54%) e Ecotoxicidade Água (54%). Enquanto o processo de lavra os impactos mais relevantes apontam para as categorias de Material Particulado (93%) e Depleção de Recursos Minerais (100%).

4.2. Análise Comparativa

Para vias de comparação dos resultados obtidos, a Figura 3, apresenta o resultado da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida da pelota Samarco comparada com a pelota de minério de ferro modelada no banco de dados Ecoinvent Iron pellet/Produção/GLO. O sistema de produto de referência para comparação corresponde a um modelo de produção global. Pode-se denotar que a pelota de ferro modelada no Ecoinvent tem impactos superiores à pelota Samarco em várias categorias de impacto, 21,6% para Material Particulado, 82,2% em Mudanças Climáticas e 1% em Depleção Mineral, exceto nas categorias de impacto ecotoxicidade terrestre e uso da terra agrícola. Sendo que são praticamente iguais para a categoria de impacto de depleção de recursos minerais, visto que o percentual de ferro na pelota final é o mesmo nos dois modelos.

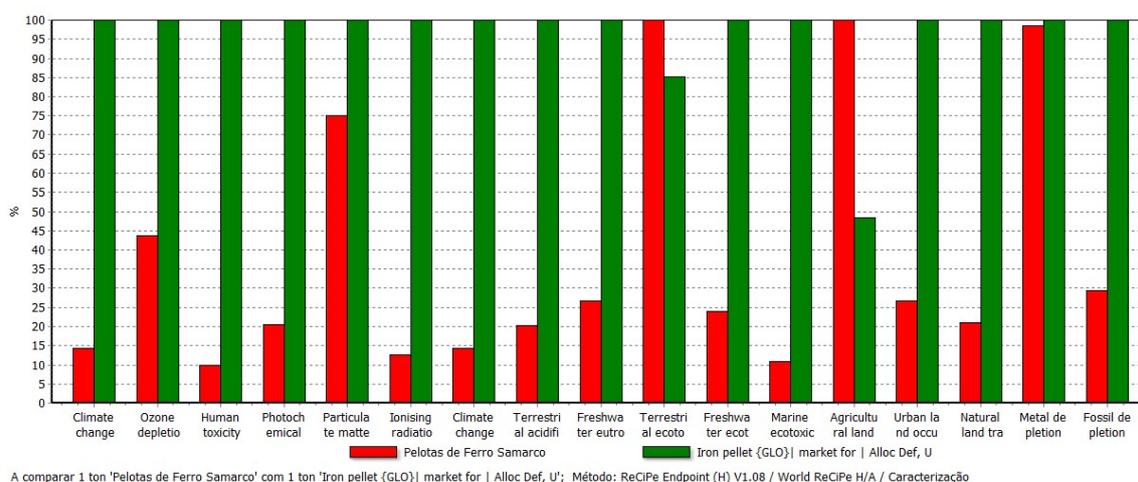


Figura 3: Resultado do AICV da pelota Samarco em comparação com a pelota do Ecoinvent pela metodologia ReCiPeEnd Point

Já para a Ocupação da Terra Agrícola, ocorre um impacto maior devido às áreas necessárias para a produção de amido de milho e mandioca especificadas na modelagem da pelota Samarco e que não estão modelados no Eco-invent.

Algumas categorias de impacto ambiental como mudanças climáticas, depleção de combustíveis fósseis e de ozônio tem explicações diretas, visto que ocorre maior intensidade de hidroeleticidade no Brasil do que na média mundial da eletricidade modelada no Ecoinvent, gerando o Brasil uma energia elétrica mais limpa que causa menos impactos em várias categorias mais principalmente em mudanças climáticas, depleção de combustíveis fósseis.

Enquanto o transporte via minerodutos e uso de correias também contribui para a redução deste impacto, já que o modelo do Eco-invent utiliza transporte via caminhões a diesel. A Ocupação da Terra (seja urbana ou agrícola) é bem inferior na modelagem Samarco devido à recuperação de 80% da área da mina, considerada como 50% na modelagem do Eco-invent.

5. Conclusão

A ferramenta de ACV está sendo cada vez mais incorporados aos processos de decisão das indústrias, revelando sua importância na quantificação de impactos ambientais e na avaliação das melhorias do ciclo de vida de processos, produtos e atividades.

A avaliação do impacto Identifico que o processo de pelotização os impactos ambiental mais relevantes são: formação fotoquímica, acidificação terrestre e ocupação da terra urbana. No processo de beneficiamento as categorias de Ocupação da Terra Agrícola, Ecotoxicidade Terrestre, Ecotoxicidade Água são as que impactam com maior peso. Enquanto o processo de lavra os impactos mais relevantes apontam para Material Particulado, e depleção de fosséis.

A comparação com o estudo da produção de pelotas de minério de ferro do Ecoinvent apresenta que a pelota SAMARCO tem impactos ambientais inferiores a do Ecoinvent. Entre outros motivos cabe ressaltar o uso da eletricidade de grid brasileiro reduzindo o impacto ambiental pelo uso de correias transportadoras dentro da mina e do mineroduto para o transporte ao invés de caminhões movido.

Denote-se ainda que as resultados ambientais na produção da pelota de ferro, sejam emissões ou uso de insumos, não são todos totalmente relativas a empresa em estudo mas sim, são o somatório de todas as emissões de todos os processos da cadeia do ciclo de vida da produção da pelota. Portanto, não ocorrem necessariamente no mesmo sítio, tampouco no mesmo tempo, mas sim ao longo do ciclo de vida dos vários produtos e processos do sistema de produção da pelota de ferro.

6. Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estruturas. **NBR ISO 14040**.2009.

AWUAH-OFFEI, K.; ADEKPEDJOU, A. Application of life cycle assessment in the mining industry. **International Journal Life Cycle Assessment**, v 16, 82–89.2011.

BLENGINI, G.A., GARBARINO, E., SOLAR, S., SHIELDS, D.J., HÁMOR, T., VINAI, R., AGIOUTANTIS, Z., 2012. Life Cycle Assessment Guidelines for the Sustainable Production and Recycling of Aggregates: The Sustainable Aggregates Resource Management Project (SARMA). **Journal of Cleaner Production**, v. 27, 177-181. 2013.

BURCHART-KOROL, D.. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v 54, 235-243. 2013.

CHEN, B.;YANG, J. X.; OUYANG, Z.Y.. Life Cycle Assessment of Internal Recycling Options of Steel Slag in Chinese Iron and Steel Industry. **Journal of Iron and Steel Research, International**, v 18(7), 33-40. 2011.

DURUCAN, S. E. Mining life cycle modelling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the minerals industry. **Journal of Cleaner Production**, v 14, 1057–1070, 2006.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008 / Report I: Characterization**. Holanda. Ministerie van VROM, Den Haag, 2009.

Li, G., Nie, Z., Zhou, H., Di, X., Liu ,Y., Zuo, T. An Accumulative Model for the Comparative Life Cycle Assessment Case Study: Iron and Steel Process. **J LCA**, v 7 (4) 225 – 229, 2002.

LIMA, F.; CANCHUMANI, G.; ARAÚJO, M.; OLIVEIRA, P. et al. Avaliação do Ciclo de Vida - ACV da produção de minério de ferro, considerando os aspectos energéticos e ambientais. **Relatório Técnico**, CETEM, 2015.