

FLUXO E INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA APLICAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

FLOW AND LIFE CYCLE INVENTORY OF ORNAMENTAL ROCKS APPLICATION IN CIVIL CONSTRUCTION

José Luis Saravia Ocharán

Bolsista PCI, Eng. Ambiental, M.Sc.

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Supervisor, Eng. Mineral, D. Sc.

Resumo

O trabalho identifica o fluxo e os inventários do ciclo de vida dos produtos a base de granito, considerando a reciclagem dos resíduos de processamento e dos resíduos da construção civil e demolição contendo esses materiais. Foi realizada uma revisão bibliográfica e seguiu-se o escopo da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida baseada na norma ISO14040. Os inventários selecionados foram de pesquisas desenvolvidas na Itália, Espanha e Brasil. A maior quantidade de dados fornecidos nos inventários foi para o cenário da Itália seguido pelo Brasil e finalmente pela Espanha. O avanço tecnológico no ciclo de vida radica nas operações de processamento dos blocos de granito. Pelo contrário, a produção de agregados reciclados ainda se mantém em uma constante tecnológica. O processamento das rochas de granito consomem mais matérias-primas e insumos quando comparado com a produção de agregados reciclados. Aparentemente os maiores consumos seriam para Itália, Espanha e Brasil correlativamente. Igualmente, as maiores quantidades de co-produtos e resíduos do processamento das rochas estariam na Espanha e Itália e referente à produção de agregados reciclados estariam no Brasil.

Palavras chave: Rochas Ornamentais, Construção Civil, Inventário do Ciclo de Vida.

Abstract

This work identifies the flow and life cycle inventories of granite products, considering the recycling of processing waste and construction and demolition waste containing these materials. A bibliographic review was carried out and the scope of the Life Cycle Assessment Methodology based on the ISO14040 standard was followed. The selected inventories were from research in Italy, Spain and Brazil. The greatest amount of data in the inventories was for the scenario of Italy followed by Brazil and Spain. Technological advancement in the life cycle lies in granite block processing operations. On the contrary, the recycled aggregates production is still in a constant technological state. The granite rocks processing consumes more raw materials and supplies when compared to the recycled aggregates production. Apparently the biggest consumption would be for Italy, Spain and Brazil correlatively. Likewise, the largest quantities of co-products and waste from the rocks processing would be in Spain and Italy and from the recycled aggregates production would be in Brazil.

Key words: Ornamental Stone, Civil Construction, Life Cycle Inventory.

1. Introdução

O Brasil se destaca por estar dentro dos 10 países produtores e exportadores de rochas ornamentais, sendo o setor da construção civil o principal destinatário desses produtos (ABIROCHAS, 2018). A maior parte das atividades de lavra e beneficiamento primário concentram-se em arranjos produtivos no sudeste do país, destacando-se a produção de mármore e granitos no Espírito Santo e a concentração de marmorarias no São Paulo (ABIROCHAS, 2018). Os diversos produtos acabados, devido suas peculiaridades e propriedades, são usados como material de construção e na ornamentação urbana (CETEM, 2014a). Juntamente com outros materiais de construção, as rochas ornamentais são reconhecidamente responsáveis por impactos ambientais significativos, devido às matérias-primas retiradas da terra e à grande quantidade de recursos empregados na extração, processamento, transporte e instalação dos diversos produtos e no seu descarte final como material pós-consumo (BIANCO; BLENGINI, 2019).

2. Objetivos

Identificar o fluxo operativo e comparar os inventários do ciclo de vida dos produtos de granito.

3. Material e Métodos

Nesse primeiro momento escolheu-se pesquisar os produtos em base de granito. Foi realizada uma revisão da literatura nacional e internacional para compreensão do ciclo de vida desses produtos nos setores de rochas ornamentais e da construção civil. O escopo do trabalho seguiu a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) segundo a norma ISO 14.040 (ABNT, 2014). A ACV é uma ferramenta que permite examinar potenciais impactos ambientais ao longo da vida dos produtos, desde a extração de recursos naturais, passando pela fabricação, distribuição, consumo e descarte ou tratamento final como resíduos sólidos. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) envolve a coleta de dados primários e/ou secundários e os procedimentos de cálculo para quantificar os fluxos de entradas e de saídas dos produtos em análise (EC, 2019; SILVESTRE et al., 2014).

Os trabalhos de Bianco e Blengini (2019), Mendoza et al. (2014) e Gadioli et al. (2020) permitiram mapear as operações e conhecer os ICVs dos produtos de granito. Com os alcances de Leite et al. (2018) e Rana et al. (2016) identificou-se que os resíduos gerados na produção, instalação, manutenção e demolição desses produtos podem ser reciclados e usados novamente na construção civil. Os artigos de Ocharán et al. (2019), Borghi et al. (2018), Ghanbari et al. (2018), Rosado et al. (2017) e Mercante et al. (2012) auxiliaram na identificação das operações e dos ICVs da produção de agregados reciclados a partir dos resíduos da construção e demolição (RCD).

Os ICVs selecionados foram de pesquisas na Itália, Espanha e Brasil. As entradas foram as matérias-primas e insumos e as saídas foram os produtos, co-produtos e resíduos sólidos. As informações e dados apresentados pretendem explicar como seria o ciclo de vida dos produtos a base de granito considerando, principalmente, sua reciclagem como agregados reciclados.

4. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o ciclo de vida das chapas e lajes de granito considerando os setores de rochas ornamentais e da construção civil.

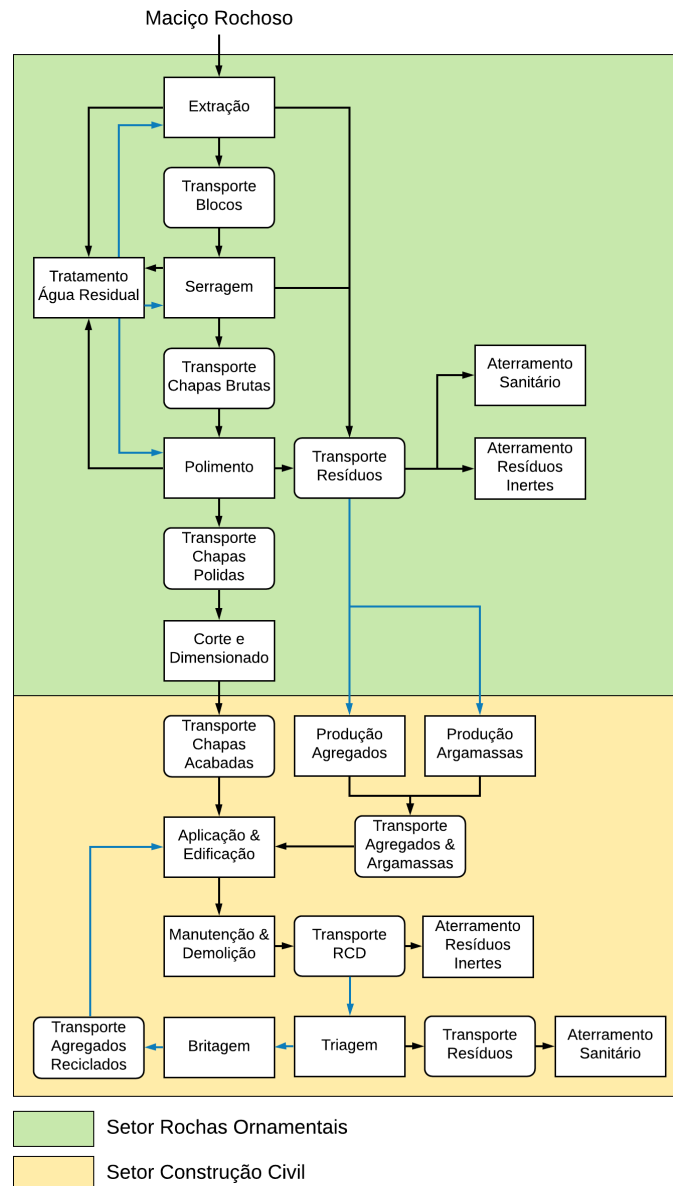


Figura 1. Fluxo do ciclo de vida das chapas e lajes de granito usados na construção civil.

Todo inicia com as fases de extração dos blocos de rochas ornamentais a base de granito desde o maciço rochoso, continuando com a serragem, acabamento e dimensionado dos produtos finais que serão instaladas em diversas edificações. A água residual usada nas fases de extração e serragem é tratada para ser reaproveitada e a lama (BIANCO, 2018; CETEM, 2014b). As lamas, retalhos e aparas gerados nessas fases e no polimento e corte/dimensionado podem ser reciclados para produção de argamassas, tijolos, telhas e agregados a serem usados na construção civil (LEITE et al., 2018; RANA et al., 2016). Instalados os produtos a base de granito, são mantidos, remodelados e/ou retirados ou demolidos. Isso gera RCD que podem triados e

britados para produzir agregados reciclados (OCHARAN et al., 2019; GHANBARI et al., 2018; ROSADO et al., 2017; RANA et al., 2016). Quando os resíduos não pudessem ser reaproveitados ou reciclados, são destinados para o aterramento de resíduos inertes ou aterramento sanitário e os efluentes são encaminhados para estações de tratamento. No pior dos cenários, esses resíduos e efluentes são armazenados ou jogados em áreas a céu aberto.

Os ICVs dos produtos de granito foram coletados e processados a partir dos dados de diversas empresas na Itália, Espanha e Brasil. Os produtos finais foram 1 m² de chapas de granito para os casos de Itália e Brasil e 1m² de lajes caso da Espanha. Nos três países são usadas operações dinâmicas na extração dos blocos de rochas ornamentais, destacando-se a utilização de máquinas com fio diamantado. Igualmente na fase de serragem são usados principalmente máquinas com teares multilâminas para obtenção das chapas de granito. Adicionalmente na Itália são usadas máquinas com disco diamantado e, junto com o Brasil, também são utilizados teares multifo diamantado. Na Espanha é usado serras com disco de diamantes no corte final para obtenção das lajes.

Os dados dos ICVs do tratamento dos RCDs e produção de agregados reciclados foram coletados e calculados de diversas empresas recicladoras em Itália e Espanha. No caso do Brasil, esses dados provêm de um estudo de caso considerando uma única recicladora. Os produtos finais correspondem a 0,994 t, 0,82 t e 1 t de agregados reciclados para os casos de Itália, Espanha e Brasil respectivamente. Nos três países as operações unitárias são as mesmas. Inicialmente são realizadas a seleção manual e magnética para separar os RCDs inertes dos materiais recicláveis e não desejados ou rejeitos, posteriormente são encaminhados para os britadores e peneiras a fim de obter diversos agregados reciclados. A diferença tecnológica está no uso de máquinas britadoras móveis na Itália e Espanha.

Nas Tabelas 1 e 2 se apresentam os comparativos dos Inventários do Ciclo de Vida dos produtos a base de granito de Itália, Espanha e Brasil encontrados na literatura.

Tabela 1. Comparativo de ICVs da produção dos produtos a base granito.

Autot País Ano Publicação	Unidade	Bianco e BlenginiItália 2019 Quantidade	Mendoza, et al. Espanha 2014 Quantidade	Castro, et al. Brasil 2020 Quantidade
<i>Matérias-Primas e Insumos</i>				
Eletricidade	kWh	22,78	28,30	11,22
Diesel	l	0,84	0,65	0,43
Água	l	53,63	103	30,93
Haste	kg	0,0292	-----	0,0078
Pólvora	kg	0,006	-----	0,005
Corda detonante	kg	0,0027	-----	0,0015
Detonador	pcs	0,0072	-----	-----
Estopim	m	0,0088	-----	-----
Explosivos	kg	-----	0,02	-----
Aço - Cabo de aço	kg	-----	0,05	0,02
Óleo e graxa	kg	-----	0,04	-----
Cunha	kg	-----	-----	0,0011

* Os valores e cálculos foram realizados a partir dos dados publicados por esses autores e de outras informações secundárias.

Tabela 1. Comparativo de ICVs da produção dos produtos a base granito (continuação).

	Autor País Ano Publicação	Unidade	Bianco Blengini Itália 2019 Quantidade	e Mendoza, et al. Espanha 2014 Quantidade	Castro, et al. Brasil 2020 Quantidade
Entradas & Saídas					
<i>Matérias-Primas e Insumos</i>					
Cones bits		kg	----	----	0,0019
ANFO		kg	----	----	0,0081
Lubrificante		l	----	----	0,03
Fio diamantado*		m - kg	0,0775 m	----	0,0172 kg
Disco diamantado		pcs	0,0051	----	----
Lâminas de aço		kg	2,2	4,04	0,61
Granalha		kg	1,67	----	1,11
Cal		kg	1,34	1,21	0,55
Bentonita		kg	----	----	0,26
Floculante		kg	0,0001	0,02	----
Abrasivo metálico		pcs	0,39	----	----
Abrasivo de resina*		pcs - kg	0,052 pcs	0,095 kg	0,005 kg
Outros abrasivos		kg	----	----	0,053
Resina		kg	----	----	0,08
Malha de fibra de vidro		kg	----	----	0,43
Gás natural		kg	----	----	0,03
<i>Produtos, Co-produtos e Resíduos</i>					
Chapas polidas e lisas		m2	1	1	1
Co-produtos de rocha		kg	149,91	85,80	----
Resíduos sólidos		m3 - kg	0,0115 m3	2,55 kg	----
Lama de resíduos		kg	46	48,30	----
Sucata de aço		kg	0,6135	----	----
Pó		kg	0,742	4,75	----
Água residual		kg	----	85,20	----

* Os valores e cálculos foram realizados a partir dos dados publicados por esses autores e de outras informações secundárias.

Tabela 2. Comparativo de ICVs do tratamento dos RCD e produção de agregados reciclados.

	Autor País Ano de Publicação	Unidade	Borghi et al. Itália 2018 Quantidade	Mercante et al. Espanha 2012 Quantidade	Rosado et al. Brasil 2017 Quantidade
Entradas & Saídas					
<i>Matérias-Primas e Insumos</i>					
RCD		t	1	1	1,25
Eletricidade		kWh	1,13	2,06	1,77
Diesel		l	0,89	0,62	0,53
Lubrificante		kg	----	----	0,008
Água		l	1,56	1	0,8
<i>Produtos, Co-produtos e Resíduos</i>					
Agregados reciclados		t	0,994	0,82	1
Outros materiais recicláveis		t	0,004536	0,03	0,02875
Rejeitos		t	0,001464	0,15	0,22125

As diferenças nos valores apresentados na Tabela 1 e 2 devem-se pela distribuição e representatividade das tecnologias usadas em cada país, sobretudo na produção de chapas e lajes de granito. Os cálculos dos dados publicados pelos autores partiram de fontes primárias e foram complementados com bases de dados dos Softwares de ACV e da literatura correlata.

No contexto dos produtos a base de granito, nota-se que os consumos de eletricidade e água são maiores no caso da Espanha (28,30 kWh, 103 l) e menores no Brasil (11,23 kWh, 30,93 l). O consumo de diesel é maior na Itália (0,84 l) e menor no Brasil (0,43 l). O consumo de aço, principalmente em lâminas, termina sendo maior na

Espanha (4,09 kg) e os consumos de hastes, pólvora, corda detonante, granalha e cal são maiores no cenário da Itália (0,0292 kg, 0,0066 kg, 0,0027 kg, 1,67 kg, 1,34 kg respectivamente). O consumo dos abrasivos de resina é maior na Espanha (0,0948 kg) e, especificamente, na Itália, os registros indicam o consumo em peças sem fornecer maiores dados para a conversão a unidades mássicas. Da mesma forma não foi possível comparar os consumos dos fios diamantados por falta de especificações para os cálculos necessários. A maior quantidade de co-produtos e resíduos gerados foi para Espanha seguida pela Itália.

Para a produção de agregados reciclados, supondo-se a inclusão dos retalhos, aparas e RCD a base de granito, os consumos de água e diesel foram maiores na Itália (1,56 l, 0,89 l) e menores no Brasil (0,80 l, 0,53 l). No caso do consumo de eletricidade, o maior consumo foi na Espanha (2,06 kWh), seguido pelo Brasil (1,77 kWh) e Itália (1,13 kWh). A maior quantidade de co-produtos e resíduos gerados foi para Brasil (0,25 t) seguido pela Espanha (0,18 t) e Itália (0,01 t).

5. Conclusão

Foi demonstrado que existem diversas fases e operações na aplicação dos produtos de granito na construção civil, contemplando a reciclagem dos retalhos do processamento e dos RCDs e o descarte final dos rejeitos gerados. Os IVCs apresentados foram representativos para ambos os setores produtivos. Os trabalhos de Itália e Brasil tiveram um maior número de dados e registros nos ICVs. A extração e beneficiamento das rochas de granito destacaram-se pelos consumos significativos de matérias-primas e insumos quando comparado com a produção de agregados reciclados a partir das aparas, retalhos e resíduos desses produtos. Aparentemente os maiores consumos estariam nos cenários da Itália, Espanha e Brasil correlativamente. Igualmente, ao parecer, as maiores quantidades de co-produtos e resíduos do processamento das rochas estariam na Espanha e Itália e referente à produção de agregados reciclados estariam no Brasil.

6. Agradecimentos

Ao Núcleo Regional de Espírito Santo do CETEM por fornecer os documentos sobre o Inventário de Ciclo de Vida das chapas de granito e por ser parte da presente pesquisa. Ao CNPq e CETEM núcleo Rio de Janeiro pela bolsa concedida e apoio na pesquisa.

7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. O setor brasileiro de rochas ornamentais - 2018. Brasília – DF. Julho/2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ISO 14.040:2014. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2014.

BIANCO, I; BLENGINI, G.A. Life Cycle Inventory of techniques for stone quarrying, cutting and finishing: Contribution to fill data gaps. Journal of Cleaner Production 225 (2019) 684 e 696.

BIANCO, I. Life Cycle Inventory of cutting technologies in the ornamental stone supply chain. Thesis - Doctoral Program in Environmental Engineering. Politecnico Di Torino. 2018. 221 p.

BORGHI, G.; PANTINI, S.; RIGAMONTI, L. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). *Journal of Cleaner Production* 184 (2018) 815 – 825.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Capítulo II. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014a.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Relatório de Inventário do Ciclo de Vida. Contratante da Validação: Centro Tecnológico do Mármore e Granito – CETEMAG. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Núcleo Regional de Espírito Santo. 2014b.

EC – European Commission. EU Science Hub. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and Action Steps. Data de Publicação e Atualização: 12-09-2019.

GADIOLI, M. C.; CASTRO, N.; RIBEIRO, C.; BELLON, U. Life Cycle Inventory of Brazilian Natural Stones. *Key Engineering Materials*. ISSN: 1662-9795, Vol. 848, pp 109-118, 2020.

GHANBARI, M.; ABBASI, A. M.; RAVANSHADNIA, M. Production of natural and recycled aggregates: the environmental impacts of energy consumption and CO₂ emissions. *J Mater Cycles Waste Manag* (2018) 20:810–822.

LEITE, F. R. et al. Avaliação do ciclo de vida da produção de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). In: Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 6, 2018, Brasília. Anais ... Brasília: Brasil. Associação Brasileira de Ciclo de Vida & Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, 2018.

MENDOZA, J. M.; FECED, M.; FEIJOO, G.; JOSA, A.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate. *Int J Life Cycle Assess* (2014) 19:153–165.

MERCANTE, I. T.; BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; ARENA, A. P. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *Int J Life Cycle Assess* (2012) 17:232–241.

OCHARÁN, J.S.; LIMA, F. M. S.; LOVÓN, G. C. Avaliação do ciclo de vida da produção de agregados naturais e reciclados para a construção civil. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 28, 2019, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

RANA, A.; KALLA, P.; VERMA, H. K.; MOHNOT, J. K. Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review. *Journal of Cleaner Production* 135 (2016) 312 e 331.

ROSADO, L. P.; VITALE, P.; PENTEADO, C. S.; ARENA, U. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 151, p. 634-642, 2017.

SILVESTRE J.D.; BRITO J. De; PINHEIRO M.D. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials - calculation rules, results and contribution to a “cradle to cradle” life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 66 (2014) 37 – 45.